В.Н. Ларин

Наша Земля



В.Н. Ларин

Наша Земля

(происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли)

Москва
«Агар»
2005

СОДЕРЖАНИЕ

Посвящается Ирине, Николаю и Владимиру…
Дорогие мои! Я очень надеюсь на вас
в дальнейшем изучении «Нашей Земли»…

От автора

В этой книге изложена принципиально новая концепция происхождения, строения и развития Земли и других планет земной группы, а также обсуждаются следствия, которые могут быть интересны в практическом отношении. Для сокращения объема данной книги в ней почти полностью отсутствует полемика с другими гипотезами и концепциями. Я надеюсь, что осведомленный читатель сможет сам сопоставить все «за» и «против».

1. ОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Все началось от взрыва Сверхновой. Это произошло примерно 4,5 миллиарда лет назад в одном из спиральных рукавов нашей Галактики на расстоянии 2/3 радиуса от ее центра. Взрыв Сверхновой нарушил гравитационную устойчивость межзвездной диффузной (рассеянной) материи. В результате в некотором объеме возник центр тяжести, к которому стала стягиваться межзвездная материя. По мере гравитационного стягивания массы росло центральное сгущение. Постепенно оно раскручивалось все быстрее, соответственно возрастали центробежные силы, и с некоторого момента на экваторе они уравнялись с силой тяжести. Наступил, как говорят астрофизики, режим ротационной неустойчивости.

На этом этапе центральное сгущение представляло собой быстро вращающуюся туманность, формой в виде двояковыпуклой линзы, с радиусом по экватору порядка 50 миллионов километров (орбита Меркурия – 55 млн. км). В дальнейшем в качестве синонимов *«центрального сгущения»* будут употребляться термины «небула» (от латинского *«nebula»* – туманность) и «Протосолнце».

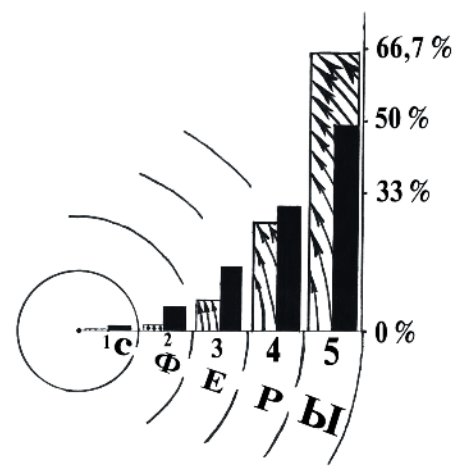
Зная исходную плотность межзвездной материи и суммарное количество вещества Солнечной системы, можно оценить объем (и радиус) той сферы, внутри которой межзвездное вещество подверглось гравитационному стягиванию. Это, в свою очередь, позволяет определить временной интервал от взрыва Сверхновой до момента вхождения небулы в режим ротационной неустойчивости. Согласно расчетам астрофизиков на это ушло порядка одного миллиона лет. Весьма характерно, что сбор массы центрального сгущения происходил крайне неравномерно во времени. Первая сотая доля массы собиралась в центре примерно 750 тыс. лет, тогда как вся вторая половина вещества небулы была собрана за время порядка одной тысячи лет.

Расчеты также показывают, что температура центрального сгущения повышалась по мере сбора массы, и во время нахождения небулы в режиме ротационной неустойчивости она (температура) могла достигать нескольких тысяч градусов. При этом небула испытала особенно резкий нагрев в самый конечный момент сбора межзвездной материи, когда произошло быстрое гравитационное стягивание второй половины массы.

Здесь мне хотелось бы передать читателю четкий образ того, что происходило на данном этапе. Давайте представим миллион лет в виде одного часа земных суток и в масштабе этого времени мысленно проследим динамику процесса. Мы знаем, как долго тянется час, если его пережидать, не отвлекаясь, глядя на циферблат часов. Итак, со вспышкой Сверхновой мы засекаем время и смотрим туда, где должно появиться центральное сгущение. Проходит 30 долгих минут (1800 секунд), но мы ничего не видим, и лишь только на исходе 45-й минуты замечаем небольшое сгущение в одну сотую от будущей полной массы небулы. Далее процесс идет по нарастающей, и все же, за считанные секунды до истечения срока, в небуле собралась только половина ее будущей массы. И вдруг за последние три-четыре секунды (из отмеренного «часа-миллиона») масса вырастает вдвое, небула резко раскручивается до режима ротационной неустойчивости и нагревается так, что начинает светить.

Рис. 1.

Характер распределения массы (залито черным) и вращательного (углового) момента (стрелки) в сфере первичной туманности в начальный момент гравитационного стягивания.



Это «вдруг» обусловлено характером распределения массы и вращательного (углового) момента в сфере, охваченной гравитационным стягиванием. На ***рис. 1*** показано распределение этих параметров по радиусу сферы (в центральном шаре, с радиусом в 1/5 от радиуса сферы, и в четырех сферических оболочках, каждая толщиной также в 1/5 радиуса). Как видно из графиков, изначаль-

но во внешней оболочке (в 1/5 радиуса) была заключена практически половина всей массы сферы и 2/3 ее суммарного углового момента. И вместе с тем втягивание именно этой порции межзвездной материи, на завершающем этапе сбора небулы, произошло примерно за 1000 лет. Это весьма малый срок в сравнении с миллионом лет, прошедшим с начала гравитационного стягивания. И именно к концу этого срока небула, из-за быстрого увеличения своей массы, испытала резкий разогрев и раскрутилась до состояния ротационной неустойчивости из-за еще более быстрого прироста углового момента.

Согласно выражению: $\Delta Q = P \times \Delta V$, выделение тепла ($\Delta Q$) должно было происходить преимущественно во внутренних частях небулы, где давление (P) и уплотнение (ΔV) максимальны. Это должно было обусловить *появление тепловой конвекции*.

Важно отметить, что взрыв Сверхновой явился мощным актом нуклеосинтеза, благодаря которому вещество, попавшее в зону гравитационного стягивания, получило дополнительную порцию химических элементов по всему списку периодической системы Менделеева. При этом наряду со стабильными изотопами и долгоживущими радиоактивными элементами, дожившими до наших дней, была сформирована масса короткоживущих радиоактивных элементов, которые давным-давно вымерли. Среди этих короткоживущих было немало изотопов с периодами полураспада порядка $10^5 - 10^6$ лет.

Радиация от распада короткоживущих изотопов обеспечивала ионизацию межзвездной диффузной материи, и, по крайней мере, первые миллионы лет она должна была находиться в частично ионизированном состоянии, в виде атомно-ионно-электронного газа, т.е. в виде плазмы *.

** Обычно термин плазма ассоциируется с наличием очень высоких температур в сотни тысяч и миллионы градусов. Однако плазма может быть холодной или, как говорят физики, «неизотермичной», с низкой ионной и высокой электронной температурами. Особенно это характерно, когда ионизация осуществляется не температурным нагревом, а жестким излучением (гамма-лучи, рентген, жесткий ультрафиолет).*

Но в таком случае, если вещество было в виде плазмы, оно должно было собираться в небулу вместе с силовыми линиями магнитного поля Галактики (такова особенность плазмы). В сравнении с современным магнитным полем Земли напряженность

галактического слабее примерно на 5 порядков, и его магнитные силовые линии распределены достаточно хаотично. По всей вероятности, и взрыв Сверхновой добавил немало хаоса в распределение галактических магнитных силовых линий на том этапе. Однако в небуле за счет уплотнения межзвездного вещества, с «вмороженными» в него силовыми линиями, напряженность унаследованного магнитного поля повысилась на много порядков, и в нем появился определенный мотив – что-то вроде «бабушкиного клубка шерсти», поскольку магнитные силовые линии как бы наматывались на небулу.

Теперь мы подошли к одному из самых главных явлений в формировании Солнечной системы – образованию протопланетного диска. Быстрое вращение небулы должно было определенным образом упорядочить потоки (по сути – струи), которые выносили тепло из внутренних зон небулы наружу. Силы Кориолиса закручивали эти струйные потоки в направлении обратном вращению. При столь быстром вращении эти струйные потоки закручивались в спирали.

Однако следует помнить, что вещество небулы и ее струйные потоки были представлены плазмой, которая является прекрасным проводником электричества, и что в небуле были собраны магнитные силовые линии галактического поля. Получается классическая картина – проводник движется в магнитном поле. Разумеется, в этом проводнике в силу индукции должен появиться поток электричества. И если проводник закручен в спираль и таких проводников много в объеме небулы, то ***это очень напоминает соленоид*** с многочисленными витками, который способен создавать внешнее дипольное магнитное поле. Таким образом, небула под занавес сбора своей массы начала генерировать собственное магнитное поле.

Перечислим снова причины данного явления: это плазменное состояние вещества небулы, резкое увеличение скорости вращения и резкий разогрев внутренних зон (и как следствие – появление струйных потоков, выносящих тепло наружу). Этот разогрев был обусловлен удвоением массы небулы на завершающем этапе ее формирования в связи с последним аккордом гравитационного стягивания. Отсюда следует, что энергия для генерации магнитного поля черпалась непосредственно от мощности процесса гравитационного стягивания. Соответственно, у небулы собственное магнитное поле было исключительно мощным.

Мощное дипольное магнитное поле сыграло чрезвычайно важную роль в дальнейшей эволюции центрального сгущения. Прежде всего небула оказалась как бы армирована магнитными силовыми линиями, т.е. как бы приобрела внутренний, относительно жесткий скелет и стала вращаться как твердое тело, все точки которого имели одинаковую угловую скорость вне зависимости от расстояния до оси вращения (от радиуса). И это удивительно, поскольку средняя плотность небулы на этом этапе по земным меркам соответствовала глубокому лабораторному вакууму.

В небесной механике широко используется физическая величина – mvr, так называемый момент количества движения*.

** Произведение массы на скорость **«mv»** в механике называют **«количеством движения»**, а умножение на плечо **«r»** – «моментом». Отсюда проистекает название величины **«mvr» – «момент количества движения».** (Если система вращается, то плечо – это радиус **«r»** удаленности массы **«m»** от оси вращения.)*

В дальнейшем вместо этого длинного названия иногда будем использовать термин *«момент»* (беря его в кавычки). Расчеты показывают, что 98% суммарной величины *«момента»* Солнечной системы локализовано в планетах, общая масса которых составляет менее 1/700 от массы Солнца. Совершенно очевидно, что при формировании планет практически весь *«момент»* был перенесен из центра формирующейся системы на ее периферию. Без этого переноса планетная система попросту не смогла бы сформироваться. Надо сказать, что это большая (и больная) проблема для современной космогонии. И если вас, дорогой читатель, будут уверять, что она якобы решена, не верьте этим уверениям. Вместе с тем в нашем случае этой проблемы не существует, все произошло само собой (и перенос *«момента»* в том числе).

Как было уже сказано, собственное магнитное поле заставило всю массу небулы вращаться с одинаковой угловой скоростью «**w**». Поскольку линейная скорость равна произведению угловой скорости на радиус – ***«v = wr»***, то *«момент»*, выраженный через угловую скорость, имеет вид ***«mwr²»***. Получается, что в системе, все части которой вращаются с одинаковой угловой скоростью, *момент количества движения* распределяется пропорционально квадрату радиуса – ***«r²»***. Следовательно, *«момент»* (как только заработало собственное магнитное поле) стал автоматически перетекать в зону, наиболее удаленную от оси вращения. В результате этого краевая экваториальная часть небулы отделилась и по мере

перекачки в нее *«момента»* (в связи с увеличением *«r»*) была сброшена и распространилась в плоскости эклиптики в виде протопланетного диска. Следует отметить, что собственное магнитное поле небулы распространялось далеко за ее пределы и на этапе сброса протопланетного диска дотягивалось до области, где сейчас располагается пояс астероидов. Это 3 астрономических единицы, и мы имеем четкие указания, что на этом расстоянии магнитное поле имело достаточно высокую напряженность (для чего «достаточную», будет показано ниже).

В процессе отделения протопланетного диска был очень интересный динамический момент. Выше мы уже говорили о появлении структуры соленоида в небуле на заключительном этапе сбора ее массы. Поскольку при протекании тока витки соленоида притягиваются друг к другу (по оси соленоида), то в результате вся структура должна была испытать резкое сжатие к экваториальной плоскости небулы. Следовательно, с началом генерации собственного магнитного поля должно было произойти достаточно резкое уплощение небулы. В результате ее экваториальный диаметр увеличился скачком, и это означает, что диск был действительно сброшен, вернее, было сброшено периферийное кольцо небулы, которое разлетелось в плоскости экватора и сформировало протопланетный диск. Получается, что небула как бы стряхнула с себя протопланетный диск.

Однако как только диск был сброшен и с ним ушел практически весь момент количества движения, оставшееся центральное сгущение резко замедлило скорость своего вращения. Силы Кориолиса столь же резко сошли на нет, и струйные потоки перестали закручиваться в спирали. Структура соленоида распалась, и генерация дипольного магнитного поля прекратилась. Получается воистину парадоксальная картина – собственное магнитное поле небулы включилось лишь на краткий миг («краткий» – по галактическим меркам) и лишь для того, чтобы сбросить протопланетный диск, и после этого тут же отключилось. В это трудно поверить, особенно если учесть, что на сброс диска и его распространение в экваториальной плоскости времени ушло порядка 100 лет и наблюдатель-долгожитель (долгожитель по нашим, земным меркам) мог бы просмотреть эту впечатляющую картину от начала до конца. Здесь впору воскликнуть – *«О Силы Небесные, до чего же ловко вы спроектировали это!»*

Явление аналогичное резкому торможению небулы, в связи с уходом диска, все мы наблюдали неоднократно, получая при этом

большое эстетическое наслаждение. Вспомните, как эффектно фигуристка тормозит свое быстрое вращение на льду, позволяя рукам разлететься в стороны. Здесь, как и в случае с небулой, механика одна и та же. Велика ли масса кулачков грациозной фигуристки (?), но эта масса умножается на ***«r^2»***, и отсюда столь впечатляющий эффект.

После сброса диска и резкого замедления вращения центрального сгущения центробежные силы уже не могли противостоять силам тяготения, в результате небула стала уплотняться и в конце концов превратилась в звезду. Вместе с тем это не было сверхбыстрое схлопывание объема, поскольку этому противодействовали плазменное состояние вещества и «вмороженные» в него магнитные силовые линии.

Прекращение генерации магнитного поля небулы, в связи с резким замедлением скорости ее вращения, стало причиной целого ряда последующих событий. Прежде всего, при уменьшении напряженности магнитного поля в протопланетном диске должен был появиться круговой (кольцевой) электропоток в силу явления самоиндукции. Это явление охватило внутреннюю часть диска, где впоследствии были сформированы планеты земного типа и пояс астероидов. Именно в этой зоне (как будет показано в дальнейшем) была высокая степень ионизации вещества, что гарантировало высокую электропроводность и, кроме того, в этой зоне магнитное поле (до его отключения) имело высокую напряженность.

Следует отметить, что чем мощнее магнитное поле, тем мощнее наводятся токи в проводящих контурах, охваченных этим полем, при отключении его источника. Первоначально круговой электропоток установился по всему поперечному сечению внутренней части диска. Однако сразу с появлением этого электропотока диск стал разделяться на множество отдельных колец в силу того, что частицы, имеющие одинаковый заряд и двигающиеся в одном направлении, притягиваются. Затем число этих колец уменьшилось, слабые кольца поглощались более сильными (с более мощным электропотоком). Но все равно, когда число этих колец перестало уменьшаться, их было много больше числа планет земного типа.

Здесь важно другое, с уменьшением числа колец и в связи с постоянной тенденцией к уменьшению их сечений* сила и плотность токов в них резко возрастали. Это спровоцировало так называемый «пинч-эффект»**, в результате чего кольца оказались

разорваны на отдельные фрагменты, напоминающие по форме сардельки.

** Частицы, имеющие одинаковый заряд и двигающиеся в одном направлении, притягиваются. Физики называют это пондеромоторным взаимодействием заряженных частиц. Равным образом притягиваются проводники, если токи в них текут в одном направлении.*

*** При прохождении тока через плазменный проводник, длина которого много больше его толщины (т.е. через плазменный шнур), образуются своеобразные кольцевые манжеты из магнитных силовых линий, и с увеличением силы тока эти манжеты пережимают проводник полностью. Данное явление физики называют «пинч-эффектом» (от англ. «pinch» – сдавливать, сжимать).*

В дальнейшем силы гравитации превратили эти «сардельки» в шаровидные глобулы, которые при такой трансформации приобрели слабое собственное вращение. В результате остатки силовых линий распадающегося магнитного поля в этих глобулах были смотаны в клубки. Таким образом, на данном этапе внутренняя часть диска оказалась плотно упакованной плазменными шаровидными глобулами, число которых достигало нескольких десятков тысяч, а диаметры до миллиона километров.

Надо сказать, что наблюдатели в это время могли видеть весьма впечатляющую картину. Как только в диске, в его внутренней части, установился круговой электропоток, эта зона стала светить жемчужно-белым светом. А когда этот электропоток разбился на кольца, то они засияли как яркая реклама в сумерках. Солнце еще не зажглось, и небула в своем гравитационном коллапсе светила сумеречным светом. Когда же пинч-эффект стал рвать кольца на сардельки, то места разрывов стали искрить в результате гигантских электроразрядов. Представьте себе, как выглядела эта картина, когда зажглись десятки тысяч электродуговых ламп, чудовищной мощности каждая. Но горели они совсем недолго и неровно, периодически вспыхивая и затухая.

Однако вернемся к внутренней зоне диска, упакованной глобулами. С момента взрыва Сверхновой шел все тот же миллион лет, просто события стали мелькать с калейдоскопической быстротой, и возникло ощущение, что времени прошло гораздо больше. Следовательно, короткоживущие изотопы все еще могли поддерживать достаточную степень ионизации, что препятствовало конден-

сации вещества глобул в твердые частицы. Этому препятствовали электростатические силы отталкивания, возникающие при сближении положительно заряженных частиц (так называемый «Кулоновский барьер»), т.е. газодинамические свойства плазмы не позволяли силам гравитации схлопнуть глобулы в твердые тела. Вместе с тем уж если диск распался на отдельные фрагменты и у каждого фрагмента образовался свой центр тяжести, то силы гравитации, безусловно, стали стягивать глобулы к их центрам тяжести, поддерживая тем самым строение данной зоны диска из индивидуальных физических образований. И нам остается рассмотреть: каким образом эволюционировал диск, плотно упакованный шарообразными глобулами, которые двигались по слабоэллиптическим орбитам (близким к круговым) в поле силы тяжести центрального сгущения – Протосолнца.

В конце 70-х годов прошлого века именно такую модель аккумуляции планет земного типа предложили Т.М.Энеев и Н.Н.Козлов. По признанию авторов, первоначально у них и в мыслях не было пойти против господствующих представлений о сборе планет из твердых частиц и тел*.

** С давних пор принято считать, что с отделением протопланетного диска от небулы он быстро остывал и в нем сразу же начиналась конденсация (в связи с падением температуры), которая менее чем за год могла вызвать резкое укрупнение частиц. По этой причине весь процесс аккумуляции планет представлялся как постепенное объединение твердых частиц и тел, которые якобы могли вырастать до астероидных и даже лунных размеров. Однако это, казалось бы, очень логичное, умозаключение абсолютно неприемлемо в свете того, что протопланетное вещество, остывая, оставалось в ионизированном состоянии (из-за радиоактивности), и это ставило абсолютный запрет на такую быструю конденсацию (вспомните про «кулоновский барьер» ионизированных частиц).*

Они просто исходили из необходимости упростить по возможности модель для облегчения машинного счета. Суть в том, что если тела взаимодействуют, в связи с силами гравитации, по закону абсолютно неупругого удара (сближение, гравитационное сцепление, формирование приливных горбов и, наконец, слияние), то каждое сближение двух тел можно рассматривать как их объединение. При гравитационном сцеплении двух глобул они начинают вращаться вокруг общего центра тяжести (общего барицентра), продолжая свое движение по орбите, и их уже можно рассматри-

вать как единое тело с суммарной массой в барицентре. Это упрощение настолько облегчило машинный счет, что число глобул (капель, по Энееву–Козлову) оказалось возможным довести до десятков тысяч. В результате модель позволила охватить всю зону формирования планет земного типа. Для вычислительной техники 70-х годов прошлого века это было весьма неожиданное расширение ее возможностей*.

** При моделировании сбора планет из твердых частиц и тел картина резко усложняется. При сближении двух твердых тел они могут столкнуться и отскочить друг от друга (сработала их упругость), могут раздробить друг друга на части (они оказались хрупкими), могут пройти рядом и возмутить орбиты друг друга (и получат бóльшие эксцентриситеты своих орбит) и, наконец, могут объединиться, но это не самый вероятный исход события. Теперь попробуйте все это просчитать, когда столько вариантов и они множатся в процессе счета. Лучшие ЭВМ того времени (начало 80-х XX века) в твердотельных моделях аккумуляции могли обсчитывать не более тысячи частиц.*

Итак, была поставлена и решена задача из области чистой механики: как будет эволюционировать диск, заданный 25600 каплями-глобулами, которые вращаются по кеплеровским (близким к круговым) орбитам в поле силы тяжести массивного центрального тела и гравитационно взаимодействуют друг с другом. В результате моделирования на ЭВМ были получены такие принципиальные параметры Солнечной системы, как характерное число планет, закон планетных расстояний (пропорция Тициуса–Боде), а также особенности вращения планет (прямое, как у Земли, и обратное, как у Венеры). Важно отметить, что данный механизм предполагает полное вычерпывание протопланетного вещества формирующейся протопланетой из своей зоны (без всякого остатка и потерь). Кроме того, по этой модели, Протоземля непосредственно после аккумуляции всего вещества из своей зоны какое-то время представляла собой протяженную и разреженную сферу с диаметром порядка миллионов километров**.

*** По мере сбора глобул в протопланетную сферу ее масса увеличивалась и соответственно возрастали силы гравитационного стягивания. Это приводило к увеличению средней плотности. В результате радиус растущей протопланеты увеличивался сравнительно мало (он оставался в пределах первых миллионов км), но увеличивалась ее плотность.*

В подобном состоянии после завершения аккумуляции должны были находиться и другие планеты земного типа (кстати, в противном случае не представляется возможным объяснить наблюдаемые наклоны осей вращения планетных тел).

По мере вымирания короткоживущих изотопов и уменьшения степени ионизации в сферах протопланет земного типа начались реакции с образованием первых химических соединений и процессы их конденсации. Поскольку вымирание короткоживущих было растянуто во времени, то, соответственно, был растянут во времени и процесс уплотнения этих протопланетных сфер в твердые планеты. По всей видимости, это продолжалось порядка полутора – двух миллионов лет. Однако продолжительность этого этапа сказывалась (и то лишь в какой-то мере) только на температурном режиме новорожденной планеты (чем дольше продолжительность процесса уплотнения, тем ниже исходная температура планеты). Следует отметить, что где-то на этом этапе зажглось Солнце, но это уже не могло существенно повлиять ни на состав планет, ни на характер их последующего развития.

В протопланетной сфере, объединенной силами гравитации, рост крупных тел был невозможен, и конденсация протовещества с последующим уплотнением его в твердую планету были подобны "мягкому снегопаду" к центру тяжести протопланеты.

В дальнейшем, в течение первого полумиллиарда лет существования Солнечной системы, планеты земного типа испытали исключительно интенсивную бомбардировку кометными и астероидными телами. При этом если источником астероидов мог быть пояс астероидов, который образовался в результате распада пятой от Солнца планеты (причины этого еще будут обсуждаться), то кометы, по мнению Т.Энеева, приходили с дальней периферии Солнечной системы, из "занептунной" области.

Итак, в данной главе было показано образование Земли как части Солнечной системы. При этом определяющую роль играло дипольное магнитное поле небулы. Но оказывается, это же магнитное поле (и только оно) определило исходные составы планет, и Земли в том числе. Об этом пойдет речь в следующей главе.

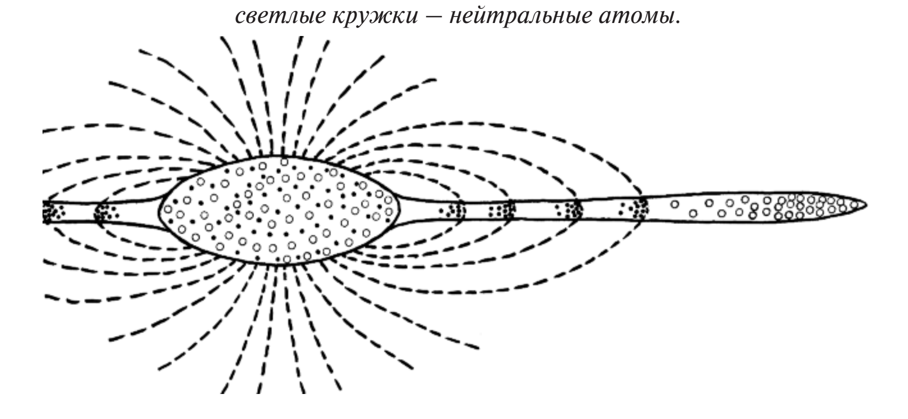
Здесь мы не будем обсуждать особенности формирования планет-гигантов, так как это увело бы нас в сторону от Земли и планет земного типа – основной цели этой книги.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНОГО СОСТАВА ЗЕМЛИ

В конце 50-х годов XX века Фрэд Хойл высказал идею о том, что при отделении протопланетного диска собственное магнитное поле небулы играло определяющую роль (Fred Hoyle – блистательный астрофизик и писатель фантаст в одном лице). Эта идея осталась практически невостребованной в космогонических построениях, однако она органически вписалась в наш сценарий происхождения Солнечной системы. Немного найдется космогонических концепций, которые можно было бы подвергнуть экспериментальной проверке. Но именно такова блистательная идея Хойла!

Схема этого теста удивительно проста. При формировании протопланетного диска ***вещество, сброшенное с протосолнечной небулы, должно было двигаться поперек магнитных силовых линий (см. рис. 2).*** Ионизированные, то есть заряженные, частицы не могут пересекать магнитные силовые линии (если у частиц не "релятивистские", а "тепловые" скорости перемещения), поэтому они захватываются магнитным полем и останавливаются в нем, тогда как нейтральные атомы свободно проходят через магнитное поле.

Рис. 2.
Магнитная сепарация заряженных частиц при формировании протопланетного диска.
Черные точки – ионизированные частицы,
светлые кружки – нейтральные атомы.



Атомы различных химических элементов различаются по склонности к ионизации. К примеру, атом цезия может потерять свой электрон от света свечи или керосиновой лампы, в то время как атом гелия может оставаться нейтральным и в непосредственной близости от звезды. Таким образом, если идея Хойла и наши построения правомерны, то при формировании протопланетного диска элементы, которые легко ионизируются, должны были захватываться магнитным полем и останавливаться в околосолнечном (околопротосолнечном) пространстве, тогда как трудно ионизируемые элементы уходили в более удаленные зоны. Иными словами, мы предполагаем, что при формировании протопланетного диска происходило разделение элементов (магнитная сепарация) в зависимости от их потенциалов ионизации*.

** Способность того или иного элемента к ионизации оценивается либо энергией, которую необходимо затратить для отрыва от атома первого электрона, либо потенциалом ионизации первого электрона. В справочниках энергия ионизации приводится в электрон-вольтах, а потенциал ионизации – в вольтах.*

Чтобы проверить это, необходимо провести ревизию данных о химических составах тел Солнечной системы. Само собой, для рассмотрения следовало брать только надежные, эмпирические (то есть аналитически установленные) данные и ни в коем случае не принимать в расчет «результаты», полученные на основе традиционно сложившихся умозрительных представлений о составе Земли и других планет, сколь бы убедительными они ни представлялись с точки зрения «бытующего здравого смысла». Какими же данными мы сегодня располагаем?

Во-первых, благодаря спектральному анализу нам известен состав фотосферы Солнца. Фотосфера отражает состав внешней зоны конвективного перемешивания, а в этой зоне заключено примерно 70% объема звезды.

Во-вторых, на Земле нам доступен только материал ее внешней геосферы до глубины примерно 150 км, и то в основном по обломкам глубинных пород, вытащенных на поверхность кимберлитовыми трубками взрыва.

В-третьих, образцы, собранные на Луне, позволяют судить о составе ее внешней оболочки.

Наконец, в-четвертых, по коллекциям метеоритов (собранных «в падениях») нам хорошо известен пояс астероидов, который отстоит от Солнца в три раза дальше Земли. Сведения по другим объектам Солнечной системы пока еще слишком фрагментарны.

Итак, мы знаем определенно лишь кое-что на Земле и Луне, но достаточно полно представляем состав Солнца и удаленного от него (на три астрономических единицы) пояса астероидов. Проведем сопоставление этих составов в парах: Земля – Солнце, Земля – пояс астероидов и Земля – Луна. По оси ординат откладываем относительную распространенность элементов, по оси абсцисс – их первые потенциалы ионизации. Результаты представлены на ***рис. 3, 4, 5***. И они однозначно показывают, что распределение элементов в Солнечной системе действительно зависит от их потенциалов ионизации. Выходит, Хойл был все-таки прав! Пожалуйста, не торопитесь и вглядитесь в эти рисунки более внимательно. Хотелось бы, чтобы они отпечатались в вашей памяти. Это фундамент и основа всей концепции, и, как вы видите, этот фундамент установлен эмпирически на фактических данных, и в нем нет ничего умозрительного*.

** Много лет назад, когда я сообразил, что можно проверить идею Хойла на фактических данных и получил явные свидетельства ее правомерности, то сразу же обратился к нашему соотечественнику, не менее блистательному астрофизику И.С.Шкловскому. Он долго отказывался от встречи под разными надуманными предлогами, ссылаясь то на исключительную занятость, то на плохую погоду, которая не дай бог меня «простудит» и не дай бог сведет в могилу, и что он потом никак не простит себе этого. Я догадывался, таких людей, как Шкловский, часто осаждают люди, которые уверены, что они решили все проблемы мироздания. У этих «пророков» часто бывает не все в порядке с психикой, и общаться с ними тягостно, а иногда просто опасно, и тому были примеры. Однако я проявил настойчивость, лучше сказать – назойливость, а мягкая интеллигентность соотечественника не позволила ему ответить решительным отказом. Когда состоялась встреча, то Шкловский сразу увел меня подальше от коллектива (там ведь были беззащитные женщины), посадил на длинный диван в огромном пустом коридоре, сам сел с другого края и с вкрадчивой осторожностью обратился ко мне: «Скажите, Вы шизофреник?» До меня наконец-то дошел весь комизм ситуации, но я постарался наполнить взгляд искренностью идиота и с достоинством ответил: «Нет, что вы, гораздо хуже, я – невротик!» В глазах собеседника полыхнула паника, однако он преодолел себя и участливо спросил: «А что это такое?» Я стал объяснять: «Ну как, вы не знаете? Шизофреник уверен, что дважды два это пять! И это его никак не волнует. А невротик знает: дважды два – четыре, но это его постоянно раздражает». Видимо, мне не удалось «сохранить лицо», собеседник углядел лукавинку в моих*

глазах, его сразу отпустило, он заразительно расхохотался, подсел рядом и уже с интересом спросил: «Ну что там у вас?» Я достал объемистый текст, он замахал руками: «Нет-нет, увольте, читать ничего не буду, изложите суть в двух словах, а лучше покажите». Тогда я показал ему эти самые рисунки (3, 4, 5), и тут меня потрясла быстрота его реакции. Он глядел на них не более секунды, затем взглянул на меня ошарашенно и спросил: «А что, разве Хойл этого не сделал?». Видимо, в моих глазах стало проявляться недоумение (кто же, кроме астрофизика Шкловского, может лучше знать об этом). Он понял неуместность своего вопроса и пробормотал: «Ну да, конечно, Хойл этого не сделал». Несколько секунд мы сидели молча, потом он вскинул на меня свой взгляд и вопрошающе произнес: «Но почему?» Некоторое время мы сидели и смотрели друг на друга с полнейшим недоумением. Затем я выступил у них (Шкловский и сотоварищи) на семинаре, где меня хорошо поддержали. По тем временам это было в диковинку, когда геолог выступал перед звездочетами с проблемой по астрофизике.

Теперь можно зримо представить, как протекала магнитная сепарация элементов по их потенциалам ионизации, которая и предопределила составы тел планетной системы. Во время формирования протопланетного диска вещество проходило через своеобразный магнитный сепаратор. Ионизированные частицы (с низкими потенциалами ионизации) захватывались магнитным полем и оставались в околосолнечном (околопротосолнечном) пространстве, в зоне формирования Земли ***(рис. 3)***, тогда как элементы с высокими потенциалами ионизации проходили без задержки и оказались в более удаленной от Солнца зоне. Поэтому относительное содержание, например, углерода на Земле в тысячи раз меньше, чем на Солнце, его атомы, будучи преимущественно нейтральными, проскочили мимо зоны Земли. Пояс астероидов отстоит от Солнца в три раза дальше зоны формирования Земли. И сразу становится понятным, почему в метеоритах много (по земным меркам) того же углерода, а также серы, золота, платиноидов, ртути, бериллия, – у этих элементов высокие потенциалы ионизации, и они слабо задерживались магнитным сепаратором ***(рис. 4)***. Вместе с тем, в метеоритах мало цезия, урана, калия, рубидия, которые легко ионизируются. Эти последние в своей основной массе не смогли просочиться сквозь магнитный сепаратор и были остановлены в зоне планет земного типа. Наконец, Земля и Луна находятся на одном расстоянии от Солнца, и магнитный сепаратор сработал для них ***(рис. 5)*** одинаковым образом (по всей видимости, они являются «двойной планетой» и их разделение произошло

Рис. 3.

Распространенность элементов на Земле относительно их обилия на Солнце.

Потенциалы ионизации (первого электрона, вольт)

3 5 7 9 11 13 15 17 20 22

Земля/Солнце – относительное содержание

10
1
10^{-2}
10^{-4}
10^{-6}
10^{-8}
10^{-10}

Ba Sr K Ti Al Nb Pb Fe Rb Na Ga Ca Sc V Mn Mg Si Y Zr Sn Cr Mo Co Pd P O Cu In Ni Sb Cd Ge B Zn S C N Xe Kr Ar Ne

Рис. 4.

Содержание элементов в поясе астероидов относительно их распространенности на Земле.

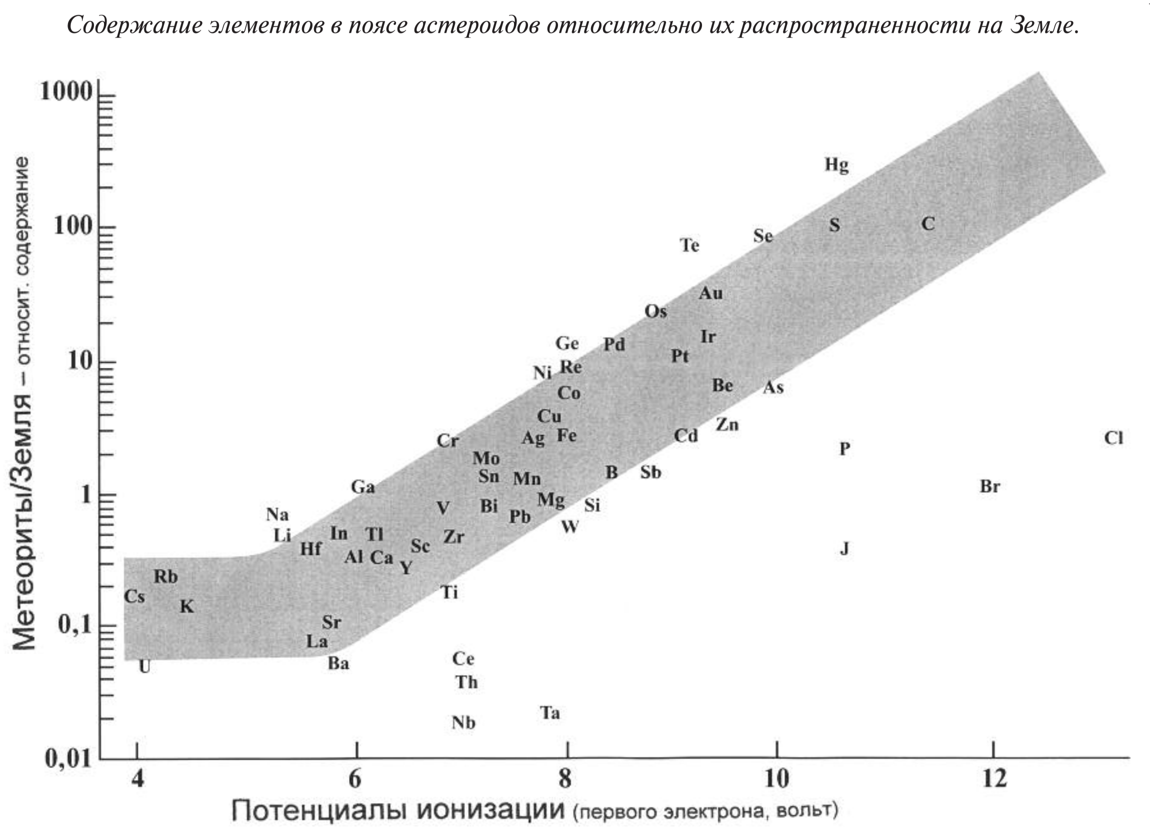


Рис. 5.

Сопоставление содержаний элементов на Луне и Земле.



из-за быстрого вращения протопланетной сферы, набранного на стадии сбора протопланетных глобул).

Теперь мы подошли к самому главному, к определению исходного состава Земли, и здесь нам помогут два обстоятельства.

Первое: состав Солнца за всю историю своего существования в виде Звезды сравнительно мало изменился: уменьшилось содержание водорода, добавилось гелия, частично выгорели в термоядерном синтезе литий и бериллий. Баланс остальных элементов остался практически неизмененным. Следовательно, по составу современного Солнца можно судить о составе протовещества, некогда сброшенного с Протосолнца при формировании протопланетного диска.

Второе обстоятельство: нам крупно повезло в том, что внешняя геосфера Земли, состав которой мы приняли к рассмотрению, сохранила различимый отпечаток исходного состава планеты, в противном случае мы не смогли бы обнаружить закономерность, которая, однако, проявилась ***(рис. 3, 4, 5).*** По этому отпечатку ***(рис. 3)*** мы можем провести (и достаточно определенно) тренд изначального положения элементов на графике, которое у них было до того, как включились земные геологические процессы и элементы стали «погуливать» согласно своим геохимическим наклонностям.

Итак, мы: 1) узнали состав того вещества, которое при формировании протопланетного диска проходило через магнитный сепаратор; 2) выявили тренд, по которому можно определить, в какой мере тот или иной элемент задерживался магнитным полем. Нам оставалось лишь взять перо и выписать тот изначальный состав, из которого формировалась планета Земля, что и было сделано ***(см. таблицу № 1).***

Однако к этой таблице все же следует сделать некоторые пояснения. На графике ***(рис. 3)*** мы видим «кислородную аномалию». Это означает, что кислорода во внешней геосфере (которую мы приняли к рассмотрению) в десятки раз больше того, что должна была определить магнитная сепарация, согласно его потенциалу ионизации (13,6 В). Обсудим возможные причины появления этой аномалии. Можно предположить, что кислород как химически активный элемент, был связан в химические соединения, потенциалы ионизации которых были существенно ниже 13,6 В, где-то около 9 – 10 вольт, и тогда это самое «в десятки раз больше» было бы для кислорода нормой. Но оказывается, что никаких химических соединений на стадии магнитной сепарации не было и быть не могло.

Таблица № 1.

Исходный состав протопланетного вещества
в зоне формирования Земли.

Элемент	Атомн. %	Вес. %
Кремний	19,5	45
Магний	15,5	31
Железо	2,5	12
Кальций	0,9	3
Алюминий	1,0	2
Натрий	0,7	1,5
Кислород	***0,6***	***1,0***
Углерод	0,03–0,3	0,03–0,3
Сера	0,01–0,1	0,03–0,3
Азот	Менее 0,01	Менее 0,01
Водород	***59***	***4,5***

Снова обратимся к ***рис. 3.*** Мы видим характерный излом тренда: в области до 8 В он идет горизонтально, но при б*о*льших значениях потенциалов ионизации круто поворачивает вниз и вправо. Этот излом тренда в области 8 вольт позволяет определить, что энергетический уровень (или уровень интенсивности) ионизирующего излучения был равен примерно 8 эВ. Все элементы, у которых энергия ионизации равна или меньше этого уровня, были ионизированы практически полностью. Если мы переведем эти электрон-вольты в привычную для термодинамики размерность – джоули на моль, то получим 772000 Дж/моль или 772 кДж/моль*.

** Для этого 8 эВ следует умножить на «постоянную Авогадро» ($6,022045 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$) и разделить на $6,24 \cdot 10^{18}$ эВ/Дж (это число электрон-вольт в одном джоуле).*

Эта величина примерно вдвое (и более раз) превышает энергию одинарной химической связи кислорода с другими элементами. Вывод: покуда сохранялся такой уровень ионизирующего излучения, стабильное существование химических соединений было невозможно, все было полностью диссоциировано и частично ионизировано.

Но если кислород при магнитной сепарации присутствовал в виде отдельных атомов и задерживался магнитным полем согласно своему потенциалу ионизации, то его содержание в зоне формирования Земли должно быть порядка одного процента (как указано в таблице). Ниже будет показано, что действительная причина «кислородной аномалии» – это перераспределение исходно низкого содержания кислорода в теле планеты в начальную эпоху ее эволюции уже как твердого космического тела.

Не следует также забывать, что протовещество, стекавшее некогда с Протосолнца, это, прежде всего, водород. Его нет на ***рис. 3***, так как нет данных о его содержании на Земле. И это правильно (то, что нет данных), поскольку гравитация нашей планеты не способна удерживать водород и он легко утекает (диссипирует) в космическое пространство. Совершенно ясно, что раньше его было больше. Но сколько его было изначально? Теперь мы знаем положение тренда, которое определено магнитной сепарацией. Это дает нам возможность определить, согласно потенциалу ионизации водорода, что исходная концентрация этого элемента в зоне формирования Земли была около 60% (в атомных количествах, ***см. таблицу 1***). Вполне достаточно, чтобы при образовании тела планеты все остальные элементы оказались в виде водородистых соединений – гидридов.

Предвижу вопрос внимательного читателя: «Но каким же образом можно удержать водород в глобулах и затем заставить его войти в твердое тело планеты?» Действительно, ведь даже Земля не в состоянии удерживать своей гравитацией водород, и что же говорить про глобулы, гравитация которых на несколько порядков меньше. К примеру, Луна, сила тяжести которой всего в шесть раз меньше земной, уже не способна удерживать не только водород, но и другие газы. Очень справедливый вопрос. Вместе с тем, мы имеем четкое свидетельство того, что при всем процессе аккумуляции Земли каким-то образом осуществлялось удержание газов. Об этом свидетельствует «хвост» инертных газов на ***рис. 3***, который однозначно показывает, что их концентрации на Земле остались такими же, какими их определила магнитная сепарация.

Я не буду исследовать причины данного явления, поскольку не считаю себя специалистом в астрофизике. Но если кто заинтересуется этой проблемой, то на мой непросвещенный взгляд за «газоудержание» прежде всего были ответственны следующие параметры. Во-первых, характерные размеры глобул, порядка миллиона км в диаметре, из такой структуры просто долго бежать. Во-вторых, низкие ионные температуры и, соответственно, малые скоро-

сти ионов и атомов (напомним, плазма была неизотермическая, с низкой ионно-атомной температурой и высокой электронной). В-третьих, сохранялся источник ионизации, и вещество находилось в виде частично ионизированной плазмы. Это означает, что каждый атом водорода также периодически подвергался ионизации на какое-то время. В-четвертых, в глобулах присутствовали магнитные силовые линии (скорее всего, смотанные в клубок из-за собственного вращения глобул), которые препятствовали выходу заряженных частиц наружу. По всей видимости, сбор глобул в протопланетную сферу происходил быстрее, чем потеря водорода.

Плотность сферы прото-Земли, с радиусом порядка миллиона километров, была в 1000 раз меньше плотности воздуха (при давлении в 1 атм). Следовательно, прото-Земля была прозрачна для тепловых фотонов, и по этой причине не могла иметь высокую температуру. Скорее всего, она была в интервале между ***0 °C*** и ***0 °K.*** И все же к началу конденсации, в связи с вымиранием короткоживущих изотопов, температура в протопланетной сфере была заведомо выше температуры застывания водорода и других газов, в том числе инертных. В этих условиях химически активный кислород еще в газовой фазе образовывал химические соединения (оксиды), которые уже и конденсировались в твердые частицы. Водород и азот менее активны химически, а благородные газы неактивны вообще, и их захват при конденсации происходил в связи с адсорбцией на поверхности «снежинок», растущих из кремния, магния, железа и др. металлов (***см. таблицу № 1***). Помните, мы говорили про «мягкий снегопад»? Конденсация приводила к образованию весьма рыхлых частиц твердой фазы, что весьма способствовало адсорбции (на их рыхлой поверхности) атомов водорода и других газов. В данной связи сошлюсь на эмпирический факт: при конденсации железа в водородной атмосфере каждый атом металла захватывает с собой по два атома водорода. Я понятия не имею, зачем металловеды делали эти опыты в 20-х годах прошлого века. Вряд ли они имели в виду проблемы космогонии. И тем не менее мне хочется выразить свою признательность исполнителям. Всегда приятно лишний раз убедиться, что «рукописи не горят», что факт, добытый в прошлом веке, остается фактом на все времена.

Итак, мы определили, как образовалась наша планета и какой состав она получила при рождении. Несмотря на «приближенно количественный» характер этих данных, они однозначно свидетельствуют против бытующих представлений. «Главная догма» в науках о Земле гласит: «ядро – железное, оболочка – силикатная». Для такой

планеты требуется 30% (вес.) кислорода и 40% железа. Однако магнитная сепарация отмерила возможную концентрацию кислорода в массе Земли порядка одного процента, а железа – около 10% (такая концентрация железа обычна для глубинных мантийных пород). В свете наших построений, преобладающими элементами в теле планеты являются (по убывающей) – кремний, магний и железо. В сумме они составляют примерно 87% массы планеты. Содержание кальция, алюминия и натрия на порядок меньше. О кислороде (≈1%) мы уже сказали. Концентрации остальных элементов не превышают долей процента. И все эти элементы в новорожденной планете присутствовали в виде водородистых соединений – гидридов. Поэтому ранние монографии на эту тему, изданные на русском, имели название «Гипотеза изначально гидридной Земли». В следующих главах мы рассмотрим, в каком направлении шло развитие изначально гидридной планеты и как согласуется эволюция ее внутренней структуры с фактами, накопленными геологами, по тектонике, петрологии, геохимии, палеомагнетизму, металлогении, сырьевым и энергетическим ресурсам и другим аспектам.

Однако, прежде чем мы перейдем к Земным делам, мне хотелось бы еще сказать несколько слов по поводу ***рисунков 3, 4, 5.*** Они отражают зависимость распределения элементов в Солнечной системе от их потенциалов ионизации, и эта зависимость оказалась исключительно информативной. Поскольку она установлена эмпирически, то любая космогоническая спекуляция обязана (как минимум) объяснить причину появления этой зависимости. Если же этого нет, значит, *имеет место быть игнорирование* эмпирически установленных фактов. Простите за протокольный язык, в данном случае я применил его, чтобы не сорваться на «неформальную лексику» в связи с этим самым игнорированием. О чем же свидетельствует обнаруженное нами явление?

Сначала примем к сведению очевидное: разделить сразу все химические элементы по их потенциалам ионизации (и разделить в едином процессе) можно только в том случае, если вещество было в частично ионизированном виде, то есть в виде плазмы, и если атомы и ионы этой плазмы перемещались поперек магнитных силовых линий (иного не дано). Естественно, такое было возможно только в протопланетную стадию развития Солнечной системы. Значит, на этой стадии вещество было ***(а)*** частично ионизировано (***а*** *– это первая буква в начавшемся перечислении*). Далее, каким-то образом генерировалось исключительно мощное магнитное поле ***(б)*****,** эффективное воздействие которого распространялось на расстояние не менее 3-х астрономических единиц ***(в)*****.** При этом протопланет-

ное вещество двигалось от центра на периферию ***(г)***, иначе мы бы имели иную картинку на ***рис. 4.*** Кроме того, выявленная нами зависимость позволяет поддержать мнение о том, что Солнце и планеты произошли из единой порции протовещества ***(д)***, а «хвост инертных газов» (***на рис. 3***) заставляет предусмотреть газоудержание ***(е)*** при аккумуляции тела Земли. По сути дела, все эти указатели от ***«а»*** до ***«е»*** так строго размечают сценарий происхождения Солнечной системы, что остается очень мало возможностей для полета фантазии. А как славно и смело «летали». Но теперь многие «результаты» этих полетов придется оставить, к сожалению.

Возьмем, к примеру, такую яркую идею, как «солнечный ветер», который якобы «выдул» из внутренней части протопланетного диска легкие элементы, и поэтому планеты земного типа обогащены металлами (в частности, железом), тогда как внешние планеты – это водород-гелиевые гиганты. Однако посмотрите на ***рис. 4.*** Почему в таком случае в поясе астероидов много (в сравнении с Землей) золота, платины, осмия, иридия? Разве эти элементы легкие? Или почему на том же графике тяжелая и легкоплавкая ртуть оказалась рядом с углеродом, легким и тугоплавким? Эти два элемента полярны по всем своим свойствам, единственное, что их объединяет – близкие потенциалы ионизации первого электрона, поэтому-то они и оказались рядом. Согласно магнитной сепарации – это норма, в свете «солнечного ветра» – это нонсенс. Такой же нонсенс, в рамках «солнечного ветра», положение легкого бериллия на графике рядом с самыми тяжелыми металлами – платиной и иридием. Однако в нашем понимании только так и должно быть. Наконец, водород и, особенно, гелий имеют высокие потенциалы ионизации, поэтому они в своей основной массе оказались во внешних планетах. Туда эти легкие (и, главное, трудно ионизируемые) элементы определила магнитная сепарация.

Это затянувшееся отступление от смысловой канвы повествования было сделано с единственной целью – показать, что в основе наших космогонических представлений лежит эмпирически установленный факт, который гласит: ***«распределение химических элементов в Солнечной системе зависит от их потенциалов ионизации».*** И это дает нам большое (вернее сказать неоспоримое) преимущество в сравнении с теми концепциями, которые базируются на умозрительных исходных посылках. По моему мнению, в области наук о Земле умозрительные гипотезы имеют скорее эстетическую ценность, нежели естественнонаучную значимость. И покуда они в своей основе не будут подтверждены эмпирическими фактами, к ним надо относиться как к упражнениям по изящной

словесности на заданную тему.

3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С МЕТАЛЛАМИ

Вся Геология нашей планеты, все ее геологические структуры являются следствием глубинных процессов, которые протекали в недрах Земли в прошлом и происходят в настоящем. Чтобы понять суть этих глубинных процессов, нам следует рассмотреть характер взаимодействия водорода с металлами, поскольку мы определили изначальный состав планеты как гидридный.

Практически все металлы способны реагировать с водородом. Взаимодействие идет по следующей схеме:

Адсорбция на поверхности ⇒
⇒ Растворение в объеме металла (окклюзия) ⇒
⇒ Химическое взаимодействие (образование гидридов).

Адсорбция и окклюзия являются чисто физическими процессами. При адсорбции молекулы водорода распадаются на атомы и уже в виде отдельных атомов адсорбируются на поверхности металлов. В процессе окклюзии атомы водорода отдают свои электроны в зону проводимости металла, или, как еще говорят физики, при растворении в металле электроны атомов водорода «коллективизируются». Эта коллективизация электронов внешних оболочек атомов явление обычное при растворении в металлах многих химических элементов. Данное явление наблюдается и при образовании твердых растворов. Однако «изюминка» здесь в том, что атом водорода при потере своего (единственного!) электрона оказывается в решетке металла в виде ***«голого протона»***. Давайте зафиксируем в памяти этот эмпирически установленный факт, поскольку именно с ним связаны многие характерные особенности глубинной геодинамики планеты, что будет показано в дальнейшем.

Металлы способны растворять в одном своем объеме сотни и даже тысячи объемов водорода. При этом характер решетки остается прежним, что свидетельствует об отсутствии химического взаимодействия.

Химическая реакция водорода с металлами приводит к образо-

ванию качественно новых соединений – гидридов с новым типом решеток, в которых водород присутствует в виде гидрид-аниона ***«H^-»*** (это протон с двумя электронами). Вообще-то, в виде гидрид-аниона водород присутствует только в тех гидридах, в которых преобладает ионный тип химической связи. Вместе с тем есть гидриды с ковалентной связью. Тип химической связи обусловлен разницей в величинах электроотрицательностей атомов металлов и водорода, и это прекрасно изложено Лайнусом Полингом в его учебниках по общей химии. С увеличением этой разницы связь становится все более ионной, а с уменьшением – все более ковалентной (эти рассуждения о типе связей нам потребуются в дальнейшем).

В обычных условиях (при комнатных температуре и давлении) различные металлы по-разному взаимодействуют с водородом. У одних оно не идет далее образования адсорбционных пленок на поверхности металла. У других – сопровождается объемной окклюзией, т.е. образованием твердого раствора водорода в решетке металла. У третьих – контакт с водородом вызывает химическую реакцию, в результате которой образуются гидриды.

Окклюзия водорода натрием, кальцием и магнием (а равным образом и другими щелочными и щелочноземельными металлами) приводит к образованию твердых солеобразных соединений – гидридов. Алюминий и кремний образуют с водородом полимерные соединения (алуаны и силаны), построенные по типу углеводородов. Эти соединения с высокими стехиометрическими содержаниями водорода находятся при комнатной температуре в газообразном (силикометан – SiH_4) или жидком состоянии, а с более низкими содержаниями – являются кристаллическими (например, силикоацетилен – Si_2H_2). Железо, никель и другие переходные металлы адсорбируют и растворяют в себе большие количества водорода (особенно при длительной выдержке в атмосфере водорода), но это не сопровождается образованием гидридов. Однако под давлением порядка 60 кбар и выше все переходные металлы, насыщенные водородом, трансформируются в гидриды.

Важно отметить: ***давление и температура влияют на взаимодействие водорода с металлами прямо противоположным образом. Повышение давления способствует окклюзии и образованию гидридов. Рост температуры, напротив, вызывает разложение гидридов, в процессе которого водород из формы гидрид-иона переходит в состояние протонного газа, растворенного в металле. При дальнейшем повышении тем-***

пературы водород дегазируется из кристаллической решетки металла. При этом повышение температуры до некоторого определенного уровня довольно слабо сказывается на диссоциации, тогда как превышение этого уровня вызывает быстрое разложение гидрида. И еще следует отметить, что повышение давления поднимает температурный уровень диссоциации, т.е. для разложения гидридов в условиях повышающегося давления требуется все более высокая температура.

Таким образом, в условиях высоких и сверхвысоких давлений «наводороженные» металлы должны находиться в виде гидридов. Но повышение температуры вызывает разложение гидридов, переход водорода из гидрид-ионной формы в протонный газ и, на-

конец, дегазацию водорода из металлов.

4. ХАРАКТЕР ЭВОЛЮЦИИ ИЗНАЧАЛЬНО ГИДРИДНОЙ ЗЕМЛИ

Сначала обсудим температурный режим новорожденной планеты. По мере гравитационного уплотнения протопланетной сферы в твердое тело высвобождалась потенциальная энергия, которая в основном трансформировалась во внутреннюю энергию планеты (как термодинамической системы). Обычно повышение внутренней энергии твердого тела в основном сводится к повышению температуры. И в рамках традиционных представлений о преимущественно силикатно-окисном составе Земли новорожденная планета должна была бы иметь высокую температуру, порядка двух-трех тысяч градусов.

Однако в случае изначально гидридной Земли все происходило совершенно иным образом. Мы знаем четкое правило: с повышением давления все большую устойчивость приобретают все более плотные фазы, т.е. химические соединения, обладающие большей сжимаемостью. Ниже (в разделе 5.1) будет показано, что ионные гидриды обладают много большей сжимаемостью в сравнении с гидридами ковалентными. Следовательно, при высоком и сверхвысоком давлении (порядка мегабара) гидриды металлов должны трансформироваться таким образом, чтобы иметь преимущественно ионный тип химической связи.

Гидриды всех металлов, входящих в состав планеты (***см. табл. № 1***), имеют преимущественно ковалентный тип химической связи, но это при давлении в 1 атмосферу. Вместе с тем при возрастании давлений до мегабарного диапазона (давление в центре Земли $\approx$ 3,6 мегабара) тип химической связи должен быть преимущественно ионным. Чтобы провести такую трансформацию, нужно совершить работу, т.е. затратить энергию. Таким образом, в случае изначально гидридного состава потенциальная энергия, выделявшаяся при гравитационном уплотнении планеты, не приводила к ее разогреву, а преимущественно расходовалась на преобразование химических соединений в недрах Земли. Впрочем, здесь вернее будет сказать не «расходо-

валась», а «консервировалась» в теле планеты. В рамках термодинамики это означает резкое возрастание химического потенциала водорода*.

** Следует помнить, что водород в исходном составе являлся преобладающим элементом (по числу атомов). В таком случае повышение внутренней энергии при гравитационном сжатии непременно вызывало возрастание «химического потенциала» водорода. «Химический потенциал» — это отнюдь не термин общего пользования, а строго определенная термодинамическая функция, которая имеет размерность энергии и является мерой потенциального стремления компонента к переходу из одной фазы системы в другую. В нашем случае это означает стремление водорода выйти из тела планеты (из твердой фазы) в атмосферу (в газовую фазу планеты как термодинамической системы). В термодинамике химический потенциал «μ» определяется как: $\mu = U + pV - TS$, где U – внутренняя энергия, p – давление, V – объем, T – температура, S – энтропия. Полный дифференциал этого выражения имеет вид: $d\mu = dU + p\,dV + V\,dp - T\,dS - S\,dT$. Но так как $dU = T\,dS - p\,dV$, то химический потенциал принимает вид: $d\mu = V\,dp - S\,dT$. Когда температура меняется мало или вообще постоянна (по причине протекания эндотермических процессов), то энтропийный член «$S\,dT$» будет малым или равным нулю и возрастание давления будет сопровождаться в основном увеличением химического потенциала. Если в дальнейшем к какой-то части этой системы подводится тепло и температура достигает уровня неустойчивости гидридов, последние будут разлагаться с выделением водорода и высвобождением энергии (в виде тепла), ранее запасенной в виде химического потенциала.*

Итак по мере роста давлений в недрах планеты начинались процессы, идущие с поглощением тепла, и суть этих процессов в трансформации характера химической связи водорода с металлами. Следовательно, новорожденная планета была относительно холодной. Под этим нечетким определением мы понимаем всего лишь то, что температура в ее недрах не достигала того уровня, при котором гидриды начинали разлагаться. На этом кончается космогонический этап формирования планеты и начинается долгая геологическая жизнь Земли.

В качестве причины дальнейшей эволюции мы принимаем традиционное представление о радиогенном разогреве земных недр. Однако радиогенное тепло отнюдь не является главным источником энергии, определяющим эволюцию планеты (об этом мы будем говорить ниже, в разделе 8). Оно лишь согревает планету до температур, при которых начинается разложение гидридов.

В свете определенного нами характера происхождения Земли радиоактивные элементы изначально должны быть распределены равномерно по всему объему планеты. Соответственно и нагрев планеты происходил равномерно по ее объему.

Учитывая б*о*льшую устойчивость гидридов с повышением давления (т.е. с глубиной), приходим к неизбежному выводу: при разогреве гидридная Земля должна была расслоиться на ряд геосфер. При этом более длительно гидриды металлов должны были сохраниться в центре планеты (в зоне максимальных давлений) в окружении сферы из металлов, содержащих водород в виде раствора, тогда как из внешних оболочек водород должен был в значительной мере дегазироваться.

В результате сформировались водородсодержащее ядро с чисто гидридной центральной зоной и металлическая оболочка, объем которой со временем увеличивался за счет сокращения массы ядра. Совершенно очевидно, что в процессе развития такой планеты внешняя металлическая оболочка постоянно «продувалась» водородом, поступающим из внутренних зон.

Уже многие десятилетия в практике литейного дела продувка водородом применяется как весьма эффективный метод очистки металлов от кислорода. Продувку ведут как через жидкий металл, так и через твердые отливки, но последние при этом должны иметь температуру порядка 600 – 700 °С. В данном процессе поражает скорость, с которой примесные атомы кислорода вытесняются из твердых (!) отливок. Если такие же скорости диффузии атомов кислорода принять для внешней геосферы, то получается, что за 15 – 20 тысяч лет водородная продувка может очистить от кислорода толщу мощностью в 1000 км. Однако мы не регламентированы по времени и вполне можем допустить, что этот процесс протекал в природе, к примеру, в 1000 раз менее эффективно. И все равно это будут лишь 15 – 20 миллионов лет, что весьма малый срок в рамках земной геохронологии. Очевидно, следует признать, что в рамках наших построений не может быть проблемы с выносом кислорода из глубоких недр наружу и что в результате этого процесса планета покрылась силикатно-окисной коркой, для которой мы будем использовать привычный термин – «литосфера». Следует отметить, что формирование литосферы – процесс весьма длительный. В своем преобладающем объеме она сформировалась к концу архея в виде достаточно ровной геосферы. Но затем по причинам, которые будут изложены в последующих разделах, она стала местами резко утоняться, а местами дорастать, и в настоящее время ее нижняя граница (в сечении) приобрела вид «зазубренной пилы», у которой отсутствуют многие зубья, а

те, что есть, имеют разную форму, высоту и ширину.

5. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВРЕМЕННОЙ ЗЕМЛИ

Из приведенных выше данных строение современной Земли представляется следующим:

Сфера		Интервал глубин, км	Состав
Литосфера		0 –150	Силикаты и окислы
Металлосфера		150 – 2900	Сплавы и соединения на основе кремния, магния и железа
Ядро:	внешнее	2900 – 5000	Металлы с растворенным в них водородом и гидриды металлов
	внутреннее	5000 – 6371	Гидриды металлов

Эта модель отличается от традиционно принятой (ядро – железное, мантия – силикатная) прежде всего ограниченным распространением кремний-кислородной оболочки на глубину. Под континентами ее мощность составляет в среднем примерно 150 км, а под океанами существенно меньше. Более того, в осевых частях океанов силикатно-окисная литосфера практически сходит на нет, и об этом мы будем говорить в специальных разделах. По нашему мнению, основной объем планеты представлен металлосферой из сплавов и соединений на основе кремния, магния и железа с соответствующими добавками других элементов (см. таблицу 1), но без кислорода. Кислород из металлосферы практически весь вынесен во внешнюю геосферу, за счет чего и сформирова-

лась литосфера. Ядро Земли сохранило исходный состав планеты, но если во внешней зоне водород присутствует в основном в виде раствора в металлах, то внутреннее ядро сложено водородистыми соединениями – гидридами.

Ниже, в соответствующих разделах, будет показано, как в этой модели находят свое место: земная кора, астеносфера, переходный слой мантии, слой *D"* на границе ядра и мантии и другие явления, установленные геофизическими методами.

Здесь хотелось бы напомнить расхожий афоризм, утверждающий, что *«новое – это не что иное, как хорошо забытое старое»*. Оказывается еще в 30-х годах XX века наш великий соотечественник В.И.Вернадский предполагал:

«Наши представления о термодинамических и химических условиях глубин нашей планеты заставляют нас видеть в них среды, благоприятные для существования водородистых тел. Здесь активность химических реакций уменьшается, кислород быстро сходит на нет, начинают все более и более преобладать металлы типа железа и, по-видимому, растет количество водорода. В то же самое время температура и давление повышаются. Все это должно привести к сохранению в этих глубинах водородистых соединений, и в том числе растворов водорода в металлах» *(В.И.Вернадский, Избранные сочинения, том 4, кн. 2, стр. 13 – 14, 1960)*.

Ссылка на великого соотечественника дана мною отнюдь не из-за стремления спрятаться за непререкаемый авторитет. В то время все это могло быть лишь на уровне интуитивной догадки. И все же мне представляется сверхъестественным, как можно было угадать суть, имея в активе лишь понимание того, что водород занимает ***«несравнимое с другими элементами господствующее положение в химии мироздания»*** (Вернадский, там же). Вместе с тем, академик Вернадский придавал большое значение этой гипотезе, и основывал на ней многие свои построения. И весьма примечательно, что тогда высказывание альтернативы не было сопряжено с риском для репутации. Иными словами, тогда версия «ядро – железное, мантия – силикатная» еще не была «канонизированной догмой», каковой она стала в дальнейшем, к 60-м годам XX века, несмотря на отсутствие четкой доказательной базы. Для историков науки, видимо, будет интересно выяснить причину столь необычного хода событий.

6. ЯДРО ЗЕМЛИ

6.1. Внутреннее ядро планеты

Внутреннее ядро планеты по геофизическим данным представляется твердым и, по бытующим воззрениям, имеет плотность порядка 12 г/см^3. В рамках наших построений оно представлено гидридами металлов, среди которых резко преобладают кремний и магний (***см. табл. 1***). В настоящее время отсутствуют экспериментальные данные по сжимаемости гидридов при давлении порядка миллиона атмосфер и более (давление во внутреннем ядре от 3 до 3,6 мегабара). Я надеюсь, что они появятся в связи с моими публикациями. И в этих будущих экспериментах следует учитывать, что гидриды достаточно нестойкие вещества и могут разлагаться на фронте ударной волны (от резкого термического нагрева). Кроме того, они достаточно активно реагируют с влагой атмосферы, а некоторые при контакте с влажным воздухом взрываются. Поэтому следует предусмотреть сборку опытов в сухой инертной атмосфере и лучше направить свои усилия для создания статического сжатия.

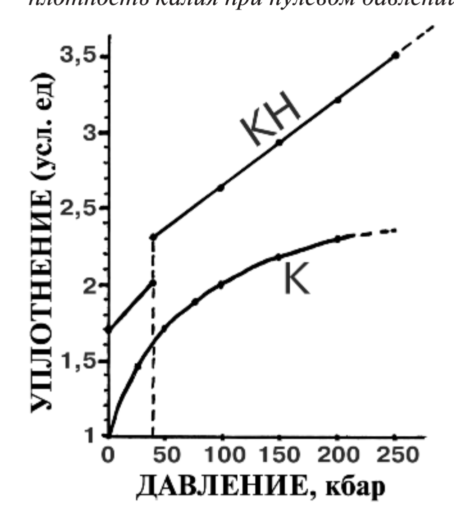
И все же давайте обсудим некоторые аспекты сжимаемости кристаллических тел, и гидридов в их числе. Вдруг обнаружится что-нибудь принципиально важное?

В условиях всестороннего (гидростатического) сжатия в кристаллических телах сначала закрываются поры и микротрещины, затем происходит трансформация кристаллической решетки до плотнейшей упаковки. Но когда эти возможности исчерпаны, а давление растет, то дальнейшее уплотнение происходит из-за уплотнения самих атомов (из-за уменьшения атомных радиусов). При этом наблюдается четкая корреляция чем более рыхлой является внешняя электронная оболочка атома, тем больше сжимаемость. В процессе сопоставления данных под «рыхлостью» мы принимали объем, приходящийся на электрон внешней оболочки, и, естественно, чем больше этот объем, тем больше рыхлость. Чемпионами в этом плане являются щелочные металлы, у них только один электрон во внешней оболочке, которая занимает внешнюю половину радиуса атома. Поэтому щелочные металлы обладают гораздо большей сжимаемостью по сравнению с другими элементами.

Здесь важен один момент, который обсудим на примере калия. У этого элемента объем, занимаемый внешним электроном, примерно в 5 раз больше того объема, в котором ютятся остальные 18 его электронов. При давлении в 100 кбар калий уплотняется в 2 раза, а при 200 кбар – только в 2,3 раза. При еще больших давлениях кривая вообще «выходит на плато» (***см. рис. 6***) и даже при давлении в 500 кбар уплотнение вряд ли будет больше 2,5 раз. Это ограничение на сжимаемость обусловлено тем, что при сокращении объема внешней оболочки ее электрон входит в кулоновское взаимодействие с внутренними электронными оболочками, которые полностью заполнены и практически несжимаемы.

Рис. 6.

Сжимаемость калия в виде металла и гидрида в условных единицах. За единицу принята плотность калия при нулевом давлении.



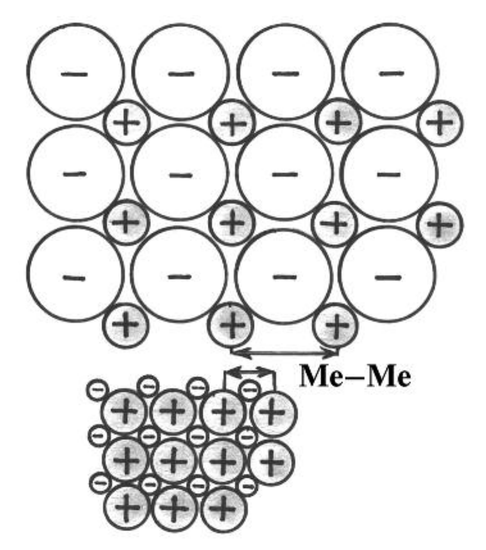
Однако у гидрид-иона (протон с двумя электронами) нет внутренних оболочек. Это и есть то самое «принципиально важное», что отличает ионные гидриды по сжимаемости от всех других кристаллических тел. Итак, в ионных гидридах остов кристаллической решетки сложен из гидрид-ионов, в которых отсутствуют внутренние электронные оболочки, и поэтому ионные гидриды должны обладать аномально высокой сжимаемостью. Это полностью подтверждается экспериментальными данными (***см. рис. 6***). И буквально «бросается в глаза» то, что градиент сжимаемости ги-

дрида калия остается постоянным (постоянно высоким!) вплоть до давлений в 250 кбар (далее к сожалению нет данных).

Кроме того, при одной атмосфере плотность гидрида калия в 1,7 раза больше плотности калия-металла. Казалось бы, парадоксальное явление, металл поглощает сотни объемов водорода на один свой объем и при этом не только не разбухает, а, напротив, существенно уплотняется. И это уплотнение происходит не за счет добавления атомов водорода в кристаллическую решетку, а в связи с уменьшением расстояний между атомами металла в решетке гидрида в сравнении с исходной металлической. Причина данного явления в электростатическом (катионно-анионном) сжатии решетки ионных гидридов, которое деформирует легко сжимаемые гидрид-анионы, сокращая тем самым расстояния между центрами металлических атомов.

Рис. 7.

Характер трансформации кристаллической решетки ионного гидрида в условиях сверхвысоких давлений: знаками «-» помечены гидрид-анионы, знаками «+» помечены катионы металлов.



Аномальная сжимаемость гидрид-иона позволяет предположить, что в условиях мегабарного диапазона давлений гидрид-ионы будут иметь столь малые размеры, что плотнейшую упаковку ионного остова решетки будут создавать катионы металла, тогда как многократно сжатые гидрид-ионы займут пустоты (октаэдрические, тетраэдрические) между ними (***рис.*** *7*). Образование такой конструкции озна-

чает достижение предела сжимаемости ионных гидридов. При переходе $Mg \rightarrow Mg^{2+}$ радиус уменьшается от 1,6 до 0,66 ангстрема; у кремния, при $Si \rightarrow Si^{2+}$, от 1,34 до 0,55 ангстрема. При этих значениях плотность магния и кремния в виде ионных гидридов может увеличиться в 14 раз (это в пределе и в условиях сверхвысоких давлений).

В стандартных условиях плотности кремния и магния – 2,33 г/см^3 и 1,74 г/см^3. Если эти значения умножить на 14, то получим плотности (соответственно 32,62 г/см^3 и 24,36 г/см^3), превышающие плотность внутреннего ядра в центре планеты (12,46 г/см^3). Это показывает, что в рамках нашей модели Земли с гидридным внутренним ядром высокая плотность последнего не представляется неразрешимой проблемой. Скорее проблема в том, что внутреннее ядро имеет недостаточно высокую плотность.

В ***таблице № 2*** приведен список элементов, которые уплотняются в виде гидридов в стандартных условиях (при комнатной температуре и атмосферном давлении). Приведенные здесь гидриды принято называть ионными. Однако расчеты показывают, что даже в солеобразных гидридах щелочных металлов тип связи имеет промежуточный ионно-ковалентный характер и связь является ионной лишь на 30 – 45%. Наиболее ионным из перечисленных является гидрид цезия. У цезия максимальная разница с водородом по электроотрицательности, и весьма показательно, что именно он обладает максимальным уплотнением в виде гидрида (при атмосферном давлении).

Таблица № 2

Уплотнение металлов в виде ионных гидридов при комнатной температуре и атмосферном давлении.

Плотность	LiH	NaH	KH	RbH	CsH	CaH_2	SrH_2	BaH_2	EuH_2	YtH_2
Металла, г/см^3	0,53	0,97	0,86	1,53	1,90	1,55	2,60	3,50	5,24	7,01
Гидрида, г/см^3	0,82	1,40	1,43	2,59	3,42	1,90	3,26	4,21	5,90	7,96
Уплотнение, %	52,8	43,8	65,8	69,2	80,0	22,6	25,4	22,0	12,5	13,5

Вместе с тем, по нашей оценке, в составе планеты резко преобладают кремний, магний и железо. Эти элементы мало отличаются от водорода по электроотрицательности, и поэтому их гидриды имеют ковалентный тип химической связи и соответственно меньшую плотность в сравнении с плотностью металлов (отсутствует катионно-анионное сжатие решетки). Однако это при давлении в одну атмосферу. Теперь мы знаем об аномально высокой сжимаемости гидрид-аниона, и знаем так же, что в условиях повышения давления все большую устойчивость приобретают наиболее плотные фазы. Отсюда однозначный вывод: в условиях повышения давления характер химической связи в гидридах должен становится все более ионным, с тем чтобы могла реализоваться по максимуму потенциальная способность гидрид-иона к уплотнению.

Энергетический аспект. Изменение характера химической связи – процесс всегда энергоемкий, и эта энергоемкость измеряется ***сотнями килоджоулей на моль,*** т.е. для насильственной трансформации ковалентной связи в ионную необходимы большие энергетические затраты. Откуда поступала эта энергия? Выше (в разделе 4) уже упоминалось, что *«в случае изначально гидридного состава потенциальная энергия, выделявшаяся при гравитационном уплотнении планеты, не приводила к ее разогреву, а преимущественно расходовалась на преобразование химических соединений в недрах Земли»*. Оценим эту энергию, выделявшуюся при гравитационном уплотнении изначально гидридной Земли. Допустим кремний уплотнялся от 2.33 г/см^3 (плотность кремния при одной атм.) до 12.4 г/см^3 (плотность внутреннего ядра). Предположим, что это уплотнение происходило в интервале давлений от 0 до 1 мегабара и что градиент уплотнения на всем интервале давлений был постоянным. Предположение о постоянном градиенте уплотнения не меняет сути явления, но очень упрощает счет, который показывает выделение энергии порядка **500 кДж/моль.** Допустим, то же самое уплотнение происходило в интервале давлений от нуля до 2-х мегабар, тогда выход энергии был бы порядка **1000 кДж/моль.** Таким образом, те самые **«сотни килоджоулей на моль»,** необходимые для трансформации химической связи, получались автоматом в самом процессе уплотнения изначально гидридной Земли в связи с реализацией потенциальной энергии гравитационного сжатия планеты.

Эта энергия, запасенная в гидридах на стадии формирования твердого тела планеты, впоследствии являлась основным энергетическим источником тектонической активности планеты. Но об этом мы будем говорить позже.

6.2. Внешнее ядро планеты

1. Поперечные волны не проходят через внешнее ядро, что свидетельствует о его жидком состоянии.

2. Магнитное поле Земли генерируется во внешнем ядре, и поэтому оно должно иметь высокую электропроводность.

3. Плотность на подошве мантии примерно 5,5 г/см^3, на поверхности ядра – 9,9 г/см^3, т.е. при переходе через границу плотность увеличивается примерно в 1,8 раза.

В рамках наших построений внешнее ядро представлено металлами, содержащими водород в основном в виде раствора. И оказывается одного этого (водорода, растворенного в металлах) абсолютно достаточно, чтобы внешнее ядро было жидким, электропроводящим и более плотным в сравнении с металлосферой, из которой водород был дегазирован в прошлые эпохи. Однако по порядку.

Технологам хорошо известно охрупчивание металлов при растворении в них водорода. Причину этого явления выясняло уже не одно поколение специалистов по физике твердого тела. Теперь представьте себе, как к этим специалистам приходит неотесанный геолог (ваш покорный слуга) и заявляет, что если металлы с растворенным в них водородом подвергнуть всестороннему (гидростатическому) сжатию, то с некоторого уровня давлений охрупчивание исчезнет, проявится способность к пластической деформации, а при дальнейшем повышении давления металлы потекут, как будто бы они расплавлены. И все это, по нахальному мнению «неотесанного», должно быть при комнатной температуре.

Можете представить, что тут началось. Физики ринулись доказывать, что это абсолютно исключено. Рисовали формулы, но это меня не впечатляло по причине моей якобы полной неосведомленности. Они это легко приняли и перешли на более доступные способы убеждения, что, мол, нужно хоть что-то знать в той области, в которой предсказываешь неизвестное ранее физическое явление. Я соглашался с ними, скорбел по поводу своей неотесанности, но уходить не торопился. Наконец, самый маститый из присутствующих, окончательно потеряв терпение, сказал: «То, что вы предлагаете, звучит для **Нас** так же, как если бы **Мы** стали уверять вас, что сейчас перед входом в **Наш** институт на скамейке си-

дит семейство питекантропов. Вы бы **Нам** поверили?!» Невозможно было не увидеть в этом заявлении намека на то, что (по их разумению) я сам из этого же семейства. Я резко встал. Физики вздохнули с явным облегчением. Но вместо того, чтобы вежливо исчезнуть, я радостно предложил им пойти и посмотреть на ту скамейку, если сидят, то прогноз верен, а если нет, то, стало быть, нет. Такой реакции они явно не ожидали. Повисло гробовое молчание, но я заметил, что они устали и почти готовы сдаться и проверить предсказанное мной явление хотя бы потому, что такого никто никогда не делал. Они – экспериментаторы, а это чрезвычайно любопытная публика, на что я и рассчитывал.

Почувствовав критический момент, я вытащил *«бумагу»*, оформленную на фирменном бланке Академии наук СССР, с подписью академика-секретаря. Он тоже геолог и не мог «не порадеть родному человечку». В письме была настоятельная просьба оказать мне всяческое содействие. Физики заворчали, что, мол, надо было начинать с этого, столько времени зря потеряли. Вопрос был решен.

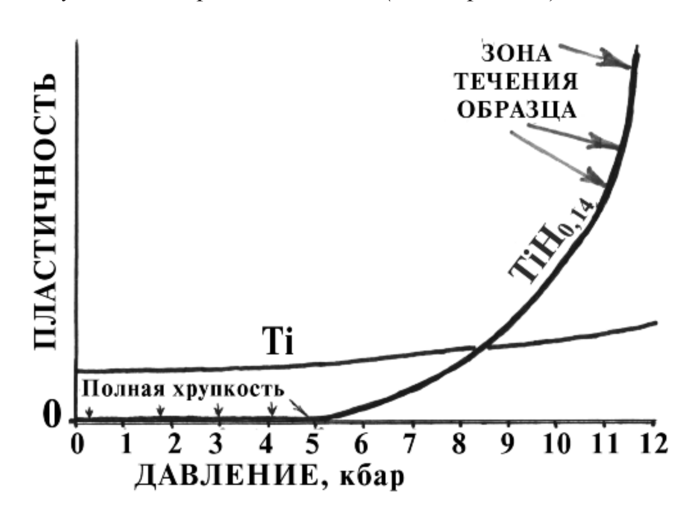
Непосредственные исполнители нашлись в одном академическом институте на Урале, там была подходящая аппаратура. Состоялась встреча, на которой исполнители разочаровали меня своими техническими возможностями, они могли определять пластичность металла только до 12 тысяч атмосфер (при комнатной температуре). Но мне нужен был гораздо больший интервал давлений. Без всякой надежды на успех я согласился и передал им образец состава $TiH_{0.14}$ (при такой концентрации водород находится в титане исключительно в виде твердого раствора). На вопрос: «какой ожидается результат?» я тут же от руки нарисовал график ***(см. рис. № 8).*** Нарисовал, разумеется, «от фонаря», но держался при этом столь уверенно, что произвел определенное впечатление на исполнителей, и вопросов они больше не задавали.

Через несколько дней зазвонил телефон: «Здравствуйте, это мы с Урала! Помните нас?» Голос веселый, но вместе с тем какой-то немного прокурорский. Просят о встрече. Ну, думаю, физики хотят позабавиться над бедным геологом... Встретились, они дают мне чертеж и говорят: «Это результат эксперимента». Смотрю и вижу, что этот чертеж один к одному совпадает с моим рисунком (от фонаря!). Озвучил свое наблюдение. Они повторяют, что это результат эксперимента: «просто все получилось именно так, как вы нарисовали». «Но так же не бывает!» – вырвалось у меня. Физики-экспериментаторы посмотрели на меня какими-то странными взглядами

и согласились: «Мы тоже думаем, что такого быть не может, и хотели бы знать, где Вы про это прочитали?».... Так вот в чем причина странности их взглядов – они подозревали меня в плагиате.

Рис. 8.

Появление пластичности в титане, содержащем растворенный водород, в условиях гидростатического (всестороннего) сжатия.



В голове был полнейший сумбур, все вертелся вопрос: как же ***такое*** (?!) могло случиться? Наконец, я успокоился, а что, собственно, произошло? Просто концепция сработала на предсказательность, и немного улыбнулась фортуна в том, что для первого опыта был выбран именно титан, у которого переход от водородной хрупкости к пластичности оказался при таких низких давлениях. Выбрал бы какой-нибудь другой металл и сидел бы сейчас с постной рожей. Как водится у мужиков, страшно захотелось глотнуть «освежающего», однако времена были «застойные», и пришлось удовлетвориться сигаретой.

Между тем физики сидели и ждали, когда же я буду «колоться» по поводу плагиата, и, судя по выражениям на их лицах, совершенно неадекватно понимали мои душевные муки. Пришлось рассказать им про новую концепцию, постепенно подводя к выводу, что в рамках этих построений предсказанное мной явление просто обязано быть. Показал на эту тему книгу, опубликованную мною несколькими годами раньше, где все это было обосновано.

Смотрю, поверили и уже не слушали, а внимали. Кроме того, при своих прежних контактах с физиками, как с этими ребятами, так и с теми учеными мужами, что записали меня в питекантропы, я немного лукавил, бравируя своей неотесанностью. На самом деле было потрачено много времени на ликбез в данной области, и я мог вести разговор на их профессиональном языке, чем в данный момент постарался воспользоваться в полной мере. Ребята поняли, что перед ними «никем не паханное», загорелись энтузиазмом и, действительно, затем много и быстро сделали.

Оказалось, как я и предполагал, переход от водородной хрупкости к водородной пластичности при гидростатическом сжатии наблюдается во всех металлах, если только в них удается создать твердый раствор водорода и сохранить его при комнатной температуре. А титан вообще начинает течь при давлении в 10–12 тыс. атм., как будто бы он расплавлен, и это при комнатной температуре (справка – температура плавления титана 1665 °С)*.

** Более того, с помощью некоторого «know how» я могу заставить титан (состава, примерно $TiH_{0.1}$) течь, как будто бы он расплавлен, при давлении порядка одной тысячи атмосфер и температуре, мало отличающейся от комнатной (напоминаю, температура плавления титана 1665 °С). Эти опыты я проводил на установке, которая не позволяла сделать давление меньше 1–1.5 тыс. атм. Однако у меня полная уверенность в том, что титан (с применением моего «know how») потечет и при меньших давлениях, что открывает новую возможность в технологии обработки металлов. Ау! Инвесторы, где вы? Есть возможность кое-что организовать и хорошо заработать.*

Вместе с тем кремний в обычных условиях не металл, а полупроводник, и в нем не удается сохранить истинный твердый раствор водорода при комнатной температуре. Поэтому с кремнием эксперименты не проводились. Однако в интервале давлений 112–125 килобар решетка кремния трансформируется в более плотную модификацию, и при этом происходит переход типа «полупроводник → металл», т.е. кремний в недрах нашей планеты с уровня 375 км и глубже становится металлом по всем физическим свойствам. И поскольку в таблице Менделеева он стоит непосредственно над титаном, то свойства металлизированного кремния должны быть очень сходными со свойствами титана.

Работа уральских физиков весьма укрепила мою уверенность в собственной правоте, и с этой уверенностью я вновь отправился к ученым мужам, которые так неласково меня приняли поначалу.

Разумеется, я жаждал реванша и ждал покаяния. Но ни того, ни другого не получил. У них, у физиков-экспериментаторов, нет жестких канонов, с которыми они за долгое время сосуществования могли бы сродниться душой и телом и воспринимать их крушение болезненно. У них все быстро меняется, и только захочешь что-нибудь возвести в догму, как она рушится в связи с новыми результатами. Они к этому привыкли и восприняли реальность предсказанного мной явления как в общем-то рутинное событие. И все же им было любопытно узнать, какая модель физического процесса позволила предсказать неизвестное ранее физическое явление.

Эта модель удивительно проста. Все основано на сопоставлении размеров голого протона и атомов металлов, слагающих кристаллическую решетку. Они различаются на 5 порядков, т.е. в сто тысяч раз! Если представить протон в виде зернышка мака размером в 1 миллиметр, то атомы будут шарами с диаметром в 100 метров, в сечении это будет больше футбольного поля. При уплотнении металлов в 5 раз диаметр этих шаров будет 60 метров, т.е. будет все та же разница в 5 порядков между размерностью протона и атомами многократно сжатого металла. Теперь представьте себе, что практически вся масса атома сосредоточена в ядре (масса покоя электрона примерно в 1850 раз меньше массы протона или нейтрона), и ядро металла, в наших модельных представлениях, будет небольшой горошиной, которая затерялась где-то в центре футбольного поля. Получается, что весь объем заполнен электронами, представляющими собой непонятно что, но только не корпускулы, а скорее какие-то энергетические волны-вихри с эфемерной массой, да еще сильно растянутые по своим орбитам. Среди этих «футбольных полей» гуляет миллиметровая бусинка-протон с точечной концентрацией заряда и массы.

Вспомним, что внешняя электронная оболочка металла занимает преобладающую (в несколько раз) долю объема атома, а электронов в ней на порядок меньше. Что запрещает протону заходить в эту сравнительно слабо заселенную зону? «Кулоновский барьер» ядра (?), но он практически полностью экранирован внутренними плотными электронными оболочками. Диффузия водорода в металлах может на 7 порядков превышать скорость диффузии других элементов. Только представьте: водород за секунды проходит расстояние, на преодоление которого другому элементу требуются годы. И все это потому, что водород диффундирует в виде протона, размеры которого исчезающе малы в сравнении с

атомами, составляющими решетку (маковое зернышко на футбольном поле).

Металловеды также установили, что скорость диффузии водорода одинакова, что через монокристалл, что через образец, в котором после холодной прокатки «набито» великое множество дислокаций, вакансий, границ зерен и др. несплошностей решетки, обычно являющихся путями ускоренной диффузии примесных атомов. Чтобы примесному атому переместиться в соседнее междоузлие, ему нужно преодолеть потенциальный барьер в виде плотно окружающих его атомов кристаллической решетки, на что требуется энергия (энергия активации диффузии). Поэтому примесные атомы для ускорения диффузии используют различные нарушения решетки, где эти барьеры ослаблены или отсутствуют. И совершенно очевидно, что протону эти барьеры не создают никакой преграды, он способен проходить сквозь сами атомы металлов, поскольку для него внешние электронные оболочки, по сути, пустота.

Но если протон проникает внутрь атома, то это равносильно увеличению эффективного заряда ядра. Внешние электроны будут подтягиваться внутрь, и атомный радиус уменьшится. Этому атому, внезапно похудевшему, уже гораздо легче проникнуть в соседнее междоузлие, тем более что такому же внезапному похуданию подвержены также атомы, создающие барьер для перехода (схлопотал протон – похудел, потерял – поправился, протоны не связаны химическими связями и гуляют в объеме металла). Короче говоря, наличие протонов в металле разрушает барьеры, препятствующие атомам кристаллической решетки переходить в соседнее междоузлие. Кристаллическая решетка теряет свою жесткость, начинает «оплывать», т.е. становится пластичной. Отсюда водородная пластичность металлов, и эта пластичность обусловлена резким увеличением способности атомов к диффузии. Без водорода такая пластичность наблюдается лишь при сильном нагревании металла (до размягчения), когда колебания атомов становятся столь энергичными, что кристаллическая решетка уже не в состоянии удержать их на своих местах.

Все это я поведал физикам, но только более строго, они не любят образности. Реакция опять была абсолютно негативная. Они сказали, что *диффузионной пластичности* при комнатной температуре быть не может. Скорее всего, всестороннее сжатие образца приводит к резкому увеличению плотности дислокаций, и, по их мнению, появляющаяся пластичность имеет обычный дислока-

ционный характер. Идею о том, что протоны способны проникать внутрь электронных оболочек, физики обсуждать отказались, полагая ее бредовой.

Разумеется, вынесенный вердикт меня никоим образом не устраивал. Допустим, я могу объяснить жидкое состояние внешнего ядра планеты присутствием в металлах растворенного водорода, возможность этого показали эксперименты. Но мне обязательно нужно было внедрение протонов в электронные оболочки, чтобы последние подтягивались внутрь и в результате сокращались бы размеры атомов. Ведь внешнее ядро Земли не только жидкое, но и более плотное в сравнении с окружающей его металлосферой. Я спросил физиков, что могло бы поколебать их уверенность в невозможности проникновения протонов в электронные оболочки атомов. Ответом было: «Ну, к примеру, если вы докажете диффузионный механизм водородной пластичности». Схема изящного эксперимента возникла у меня мгновенно, но я благоразумно не стал тут же обсуждать ее с оппонентами.

Я решил вырастить алмаз в твердом металле из атомов углерода, содержащихся в этом металле в виде твердого раствора. И если я прав в своих построениях, то алмазы у меня должны вырастать «мгновенно» в твердой среде (в твердой кристаллической решетке металла). Из специальной литературы мне было известно, что введение водорода в металл резко снижает растворимость в нем углерода. Т.е. если в металле имеется твердый раствор углерода и мы введем в решетку водород, то углерод должен «выпасть из раствора» в виде самостоятельной минеральной фазы. И если давления низкие, то это будет графит, а если высокие – будет алмаз. Вместе с тем присутствие водорода в виде протонов обеспечит столь быструю диффузию атомов углерода, что алмазы должны вырастать в твердой решетке металла очень быстро, можно сказать, «невероятно быстро».

На ближайшей помойке валялась пришедшая в негодность батарея водяного отопления. Она была чугунная, а в чугуне в виде твердого раствора находится примерно 8–9% (ат.) углерода (что сверх этой концентрации, то присутствует в чугуне в виде графита). Я отколол от этой батареи кусочек, из которого выточил исходные образцы для эксперимента. В одном подмосковном научном центре нашлись люди, увлеченные синтезом алмазов. Они предоставили мне свою технику для создания высоких давлений и терпеливо научили на ней работать. Они же снабдили меня сведениями, согласно которым при 750 °С область стабильности алмаза

появляется при давлениях порядка 35 килобар и выше. Вместе с тем меня просветили, что это согласно термодинамическим расчетам, поскольку при данных параметрах никто не синтезировал алмаз, т.к. кинетика процесса при такой температуре столь мала, что никакой жизни не хватит дождаться результата. И поэтому алмазы выращивают при температурах порядка 1200–1250 °С, при которых кинетика становится ощутимой для синтеза кристаллов. Данная ситуация меня вполне устраивала, т.к. я собирался ускорить кинетику (по сути, диффузию) на несколько порядков введением протонированного водорода в решетку металла.

В образец чугуна я заложил источник водорода, который должен был сработать при повышении температуры, и этот «сэндвич» был помещен в установку высокого давления. Сначала его «задавили», потом нагрели до 750 °С, подержали несколько минут, отключили нагрев, отключили компрессор, вынули, положили в пакетик и написали № 1. Затем то же самое еще 4 раза проделали с другими идентичными образцами. Итак, у меня 5 пакетиков и большой скепсис относительно результата, особенно в связи с малой продолжительностью опытов. Однако держать дольше не имело никакого смысла, т.к. водород очень быстро уходил из образца. Через некоторое время я уже был в химической лаборатории, где под тягой на электроплитке стоят 5 стаканчиков, в них в кипящей царской водке постепенно исчезает железо, а из него вываливается какой-то темный мусор. Этот мусор был промыт спиртом, высушен, и вот он уже у меня в виде «дорожки» под бинокуляром.

Перебираю эту грязь и меланхолично отмечаю: это графит из чугуна, это карбиды железа, это вообще «не знамо что» ... И вдруг в поле зрения появляется октаэдр, чистый, играющий всеми цветами радуги, завораживающий своей формой с идеальными треугольными гранями. Безусловно, это алмаз! И его появление среди бесформенного темного мусора казалось нереальным. Чтобы насладиться зрелищем, стал поворачивать его с боку на бок стальной иголкой, неосторожно прижал к стеклу, раздался щелчок, и он выскочил за пределы поля зрения. Я готов был убить себя за неос-торожность, проклиная все на свете, вытащил из гнезда осветитель и стал подсвечивать все вокруг. Кристаллик выдал себя своей игрой со светом. Я водворил его на место и стал быстро-быстро просматривать дорожку дальше. Обнаружил еще с десяток монокристаллов с формой куб-октаэдра, размером от 0,3 до 0,7 мм, и десятка два сростков столь занимательной конфигурации, что ими можно было любоваться до бесконечности. Примерно такой же

набор был найден еще в двух опытах, а два оказались пустыми. Предположительно, в пустых опытах водород нашел лазейку и вытек, минуя основной объем металла.

При давлениях порядка 35 кбар чугун плавится около 1200 °C. Это температура эвтектической горизонтали ($Fe{-}Fe_3C$), и она на 450 °C выше температуры эксперимента, т.е. в моем опыте алмазы выросли заведомо в твердом металле, и выросли с такой скоростью, какой никто не ожидал, кинетика синтеза выросла на многие порядки. Кроме того, они (алмазы) не содержали включений железа, что также говорит о чрезвычайно эффективной диффузии.

Таким образом, мне удалось показать, что протонированный водород в металле действительно резко облегчает диффузию атомов в кристаллической решетке, как своих собственных, так и примесных. И скорее всего, это связано с проникновением протонов в электронные оболочки металлических атомов. По крайней мере, предсказанные на этой основе неизвестные ранее физические явления были установлены экспериментально. А как еще доказывать правомерность сделанных предположений? Но если протоны способны проникать в электронные оболочки атомов и вызывать тем самым сокращение атомных радиусов, то следствием этого должно быть повышение плотности и сжижение металла. Именно это и наблюдается во внешнем ядре планеты.

Теперь относительно электропроводности внешнего ядра, которая должна быть высокой, чтобы обеспечить генерацию магнитного поля. С этим вообще никаких проблем, поскольку внешнее ядро в нашей модели состоит из металлов. Более того, при образовании раствора водорода его атомы отдают свои электроны в зону проводимости металла, при этом, естественно, возрастает электропроводность. К тому же растворение водорода в металлах можно рассматривать как образование в объеме металла полностью ионизированной водородной плазмы, высокая электропроводность которой обеспечивается как подвижностью электронов, так и подвижностью протонов.

Надо сказать, что синтез алмазов оказался настолько захватывающим делом, что я уделил ему гораздо больше времени, чем предполагал вначале. При этом выявились удивительные явления. Началось с того, что полученные мной кристаллы я показал большому специалисту по синтезу алмазов, не раскрывая особенностей их происхождения. Он посмотрел на них и сразу сказал: «Давление можно существенно снизить, тогда будет меньше сростков и больше монокристаллов». Я последовал совету и, сохраняя тем-

пературу синтеза в пределах 700–750 °С, стал последовательно снижать давление сначала до 25 кбар, затем до 20 кбар и, наконец, до 16 кбар. И при этих давлениях у меня все равно из твердого раствора углерода получался алмаз, т.е. синтез так и не вышел из области стабильности алмаза, хотя последнее значение давления (16 кбар) на 14–15 кбар ниже кривой равновесия графит – алмаз. Я не знаю, сказывается ли в этом присутствие протонов в решетке металла или это просто следствие сбора кристаллов алмаза по атому из раствора, а не в результате трансформации решетки графита в структуру алмаза? В специальной литературе мне встречались данные о том, что присутствие протонированного водорода в решетке металлов и сплавов резко снижает температуру и давление фазовых переходов. В общем, получается, что алмаз может и не быть показателем высокого давления.

В одной серии экспериментов, которая проводилась в цехе предприятия по промышленному производству алмазов, я использовал многокомпонентный сплав, температура плавления которого была около 700 °С. По технологии сборки опыта этот сплав удобнее было использовать в виде порошка. Многокомпонентные сплавы обычно содержат хрупкие интерметаллические соединения, так что издробить их в тонкий порошок не составляет труда. Я обнаружил, что этот сплав активно взаимодействует с атмосферной влагой, а выделяющийся водород растворяется в металле. Чтобы избежать этого, порошок сплава хранился в герметичной таре и открывался только на время сборки опыта. И все же можно было видеть, что со временем его частицы покрывались тончайшей белесой пленкой окисла, а сплав, естественно, насыщался водородом (у порошков большая активная поверхность). Я знал также, что под давлением этот сплав, насосавшийся водорода, может стать жидким и это неминуемо вызовет разгерметизацию и выброс сжиженного металла наружу, что чревато всякими неприятными последствиями. Опыты проводились на большом прессе, и объем испытуемой навески составлял что-то около 15 см^3, так что неприятности могли быть немалыми.

Я настойчиво предупреждал участников эксперимента о возможных последствиях, предлагал надробить свежего металлического порошка. Но они делали свою рутинную работу, только с другим сплавом, все шло как обычно, и мои страхи казались им необоснованными. В конце концов по своей технологии они всегда после набора давления включают нагрев и плавят металл навески, и если все собрано нормально, без нарушений отработанной

технологии, то никаких выбросов не происходит. Я пытался объяснить им, что в своих опытах они плавят после набора давления, т.е. после того, как у них по всем щелям, под нагрузкой, растекся уплотнитель, все запечатал, градиенты уравновесились и давление стало гидростатическим. В моем же случае сплав станет жидким не от нагрева, а в процессе набора давления (на холоду), когда градиенты еще не уравновесились и выброс будет неминуемым, и что все зависит лишь от того, когда сплав накушается достаточно водорода. Однако мне опять не поверили, да и как поверишь в то, что металл может расплавиться без нагрева, на холоду. Но мне и самому стало любопытно узнать, чем все это закончится. Вместе с тем с началом каждого нового эксперимента я стал методично закрывать защитные стальные дверки, предохраняющие окружающих от прямого попадания.

Ждать долго не пришлось. В процессе набора давления грохнуло, и так хорошо, как будто выстрелили из чего-то крупнокалиберного прямо над ухом. Работники цеха списали это на изношенность оборудования, поставили новые вкладыши из карбида вольфрама, тщательно провели сборку опыта и снова начали набор давления. Тут уж я стоял и неотрывно следил за стрелкой манометра, хотел знать, при каком давлении произойдет сжижение металла. Нужно было набрать 30 тыс. атм., набрали 20 тысяч, и опять грохнуло. На этот раз навеску выбило струей в сторону зрителей, она ударилась в защитную дверку, сползла вниз и застыла в виде лужицы на горизонтальной поверхности на виду изумленной публики. Забавно было видеть недоумение присутствующих, взгляды которых метались от рубильника (которым включался нагрев) к лужице металла. На лицах читался вопрос: «Как же так, нагрев не включали, а металл навески оказался расплавленным, вот же она, застывшая лужица?» Кто-то, не веря своим глазам, стал осторожно щупать эту лужицу, как щупают раскаленную сковородку, затем осмелел, накрыл ее ладонью и с изумлением произнес: «Но она же холодная!?».

Я же стоял и сокрушался по поводу силы стереотипов в нашем мышлении, ну почему раньше мне не приходило в голову, что внешнее ядро планеты тоже может быть ***холодным*** (временами) и вместе с тем будет оставаться ***жидким, электропроводящим и плотным***, в рамках моей концепции, разумеется. Ниже мы еще поговорим об этом.

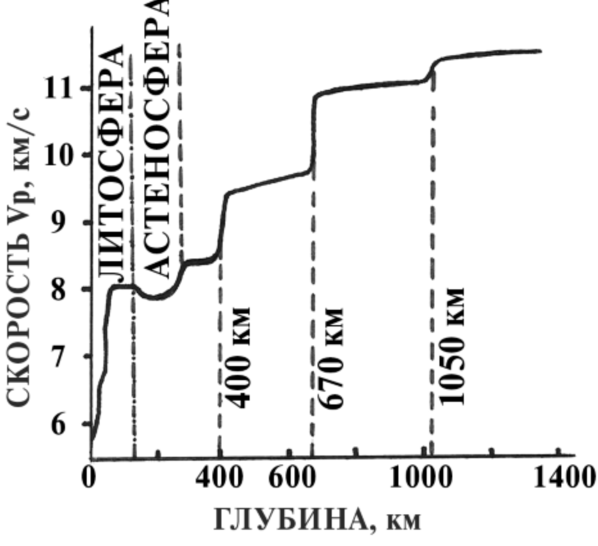
7. МЕТАЛЛОСФЕРА

7.1. Переходный слой мантии

По сейсмическим данным, на глубинах 400, 670 и 1050 км установлены скачки в скорости прохождения сейсмических волн ***(рис. № 9)***. Геофизики связывают это с трансформацией кристаллических решеток в более плотные модификации по мере возрастания давления. По нашим данным, эти уровни находятся в пределах металлосферы, которая на 90% сложена силицидами магния и железа, а также металлическим кремнием – Si. Относительную распространенность этих фаз можно представить пропорцией – Mg_2Si : Si : FeSi = 6 : 3 : 1.


Рис. 9.

Три скачка в скорости распространения сейсмических волн в верхней мантии.

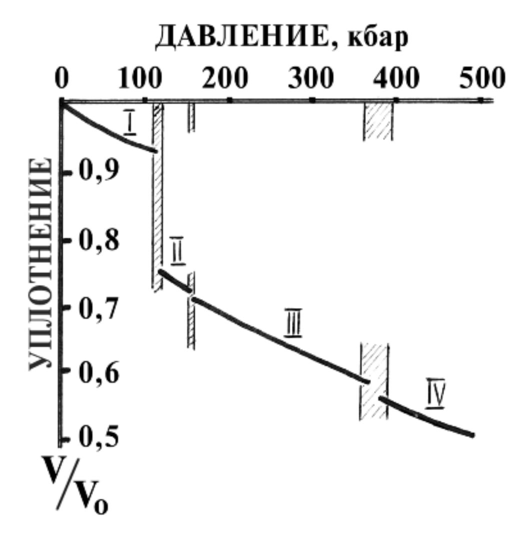


Естественно было предположить, что объемные эффекты связаны с трансформациями кристаллических решеток, преобладающих по объему фаз (Mg_2Si и Si). По этой причине я обратился к соответствующим специалистам в надежде уговорить их определить сжимаемость силицида магния до давлений порядка 450 кбар. Но они (специалисты) не согласились, ссылаясь на то, что соедине-

ние Mg_2Si разлагается во влажной атмосфере и это создает большие сложности в работе. Они же порекомендовали мне только что опубликованную работу американских физиков по сжимаемости кремния до 510 кбар ***(рис. № 10).*** Я не очень надеялся обнаружить сразу все три скачка в плотности в одном кремнии, но и не очень удивился этому, поскольку уже привык, что концепция сама себе помогает.

Рис. 10.

Три полиморфных перехода у кремния при статическом сжатии до 510 кбар на алмазных наковальнях.

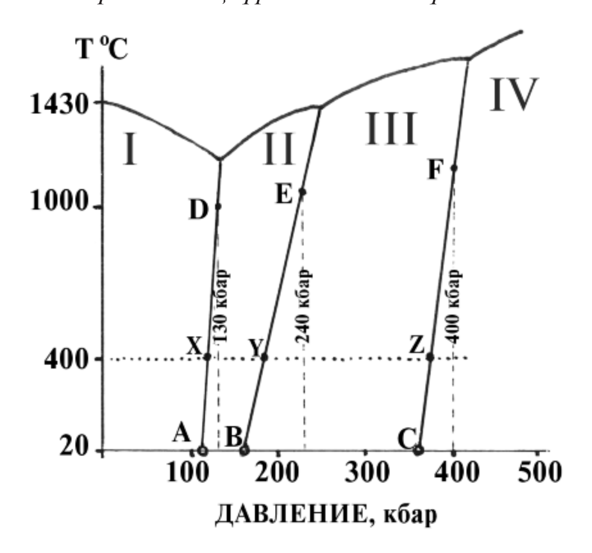


Разумеется, давления переходов в эксперименте с кремнием (при комнатной температуре) разнятся с давлениями переходов в недрах планеты, где температуры существенно выше, так и должно быть. Однако давайте представим, как может выглядеть диаграмма фазовых состояний кремния на основе известных данных ***(рис. 11).*** Мы знаем температуру плавления кремния при атмосферном давлении – это 1430 °С на оси температур. Из эксперимента американских физиков нам известно положение точек *А-В-С* по оси давлений при комнатной температуре (20 °С). Мы не знаем закона, по которому происходит смещение фазовых границ в зависимости от температуры, т.е. не знаем, каковы градиенты dP/dT. Эти градиенты можно определить, повторив эксперимент американских физиков при более высокой температуре. Допустим, этот эксперимент покажет давления фазовых переходов при

температуре 400 °С, и это будут точки X-Y-Z (разумеется, сейчас мы не знаем положение этих точек по давлению, и на рисунке они показаны чисто условно, с тем чтобы обозначить возможный ход рассуждений). Если эти точки будут определены, то мы сможем провести фазовые границы.

Рис. 11.

Возможная диаграмма фазовых состояний кремния, римскими цифрами показаны фазы.



Сейсмологи дают нам глубины (суть, давления) фазовых переходов в недрах планеты, эти уровни показаны вертикальными пунктирными линиями (130 кбар, 240 кбар и 400 кбар). И если эти переходы обусловлены полиморфизмом кремния, то, проведя фазовые границы до пересечения с этими уровнями (точки D-E-F), мы сможем определить температуры в мантии на глубинах 400, 670 и 1050 км. Таким образом, здесь открывается возможность определить температуры в недрах планеты на глубинах фазовых переходов. Для этого нужно всего лишь повторить эксперимент американцев, но при более высоких температурах. Технически это не составляет проблемы.

Геофизиков весьма интригует необычный характер скоростей сейсмических волн ниже и выше раздела у 400 км. Под этим разделом градиент нарастания скоростей почему-то ощутимо выше, чем над ним. Получается, что сжимаемость вещества после полиморфного перехода (т.е. в области более высоких давлений) стано-

вится выше. Для силикатов и окислов это совсем не свойственно, но не так уж редко случается при переходах типа «полупроводник → металл», как в нашем случае с кремнием. Более плотная металлизированная фаза может обладать большим градиентом сжимаемости в связи с разрушением жестких ковалентных связей кристаллической решетки полупроводника. И если вы посмотрите на рис. 10 под острым углом «с юго-востока», то увидите это сами, отрезок № 2 кривой сжимаемости идет гораздо круче вниз в сравнении с отрезком № 1.

Геофизики также отмечают в «нижней мантии» (глубже 1000 км) аномально низкие градиенты нарастания скоростей сейсмических волн и сжимаемости. Но это опять же аномально только для силикатов и окислов и, напротив, свойственно металлам, у которых при давлениях более 400 кбар резко сокращается приросты сжимаемости и модуля Юнга (он же модуль упругости).

Теперь о плотности. Кремний при давлении в 500 кбар уплотняется в два раза ***(см. рис. 10),*** и, следовательно, его плотность на глубине 1250 км должна быть равной 4,66 г/см^3. Плотность мантии на этой же глубине (по модели Буллена) достигает 4,67 г/см^3. Согласитесь, совпадение более чем удовлетворительное. Однако кремний не является преобладающей по объему фазой, и мы не знаем характера уплотнения фазы Mg_2Si (главной по распространенности). Известно лишь, что при давлениях порядка 60 кбар она претерпевает переход типа «полупроводник → металл», и ее металлизированная модификация оказалась устойчивой при комнатных температуре и давлении, и в этих (комнатных) условиях она имеет плотность 2,35 г/см^3. Плотность кремния при этих параметрах 2,33 г/см^3, и остается только надеяться, что фаза Mg_2Si с набором давления уплотняется так же, как кремний. Для фазы FeSi данных по сжимаемости также нет, ее плотность в обычных условиях равна ≈ 5,20 г/см^3. Любопытно отметить: расчет плотности вещества, состоящего из фаз: Mg_2Si + Si + FeSi (взятых в пропорции – 6:3:1), показывает величину – 2,64 г/см^3, что соответствует плотности гранито-гнейсов верхних горизонтов континентальной коры. Следовательно, если языки силицидов проникли кое-где на континентах близко к поверхности планеты, то это не должно сопровождаться резкими аномалиями в гравитационном поле.

Как видите, дорогие физики-экспериментаторы, для вас есть работа.

7.2. Астеносфера

В рамках предлагаемой концепции астеносферный слой является непременным следствием строения и развития планеты. Выше было показано, что на ранних этапах развития изначально гидридной Земли сформировалась литосфера, как внешняя оболочка планеты, представленная силикатами и окислами. И сформировалась она в результате очистки металлосферы от кислорода в связи с «продувкой» водорода, который истекал (и до сих пор истекает периодически) от ядра планеты при разложении гидридов. Скорость диффузии водорода в металлах на 6–7 порядков выше, чем в силикатах и окислах. Это означает, что сформировавшаяся литосфера должна стать барьером на пути водорода наружу, и он должен образовывать скопления в верхних горизонтах металлосферы, непосредственно под литосферой.

Теперь мы знаем о водородной пластичности металлов. Отсюда способность астеносферы к вязкопластичному течению, приводящему к изостатическому выравниванию. С этим же связано понижение скоростей прохождения сейсмических волн. Совершенно очевидно, что наша астеносфера не нуждается в «сложных играх» с геотермическими градиентами и, вообще, наша астеносфера может быть «холодной», т.е. она может быть и при температурах, далеких от температуры плавления. И еще, ***наша астеносфера*** не может быть разуплотненной, наоборот, если она появилась, то ***должна иметь тенденцию к уплотнению.*** Интересно, могут ли геофизики обнаружить эту тенденцию? Таким образом, в рамках нашей концепции силикатно-окисная оболочка кончается там, где начинается астеносфера, положение которой маркирует кровлю металлосферы.

Термин «мантия» очень плотно укоренился в науках о Земле и означает все то, что располагается ниже коры и вплоть до ядра планеты. Однако в рамках наших построений этот термин становится несколько неудобным, поскольку в нем объединяются различные по составу геосферы – подкоровая часть силикатной литосферы и металлосфера. Поэтому в дальнейшем, где это будет нужно, я буду применять термин «мантия» с уточняющими прилагательными «литосферная» и (или) «металлосферная».

8. РАСШИРЕНИЕ ПЛАНЕТЫ

8.1. Масштабы расширения

Надеюсь, все уже поняли, что развитие изначально гидридной Земли непременно должно сопровождаться существенным расширением планеты. Но как определить возможные масштабы этого процесса? Напомню, в изначально гидридной Земле металлосфера образовалась в связи с разложением гидридов и дегазацией водорода. Казалось бы, чего проще, мы знаем плотность гидридов во внутреннем ядре, это примерно 12,3 г/см^3, и знаем плотность дегазированной металлосферы, на границе с ядром это порядка 5,5 г/см^3. Делим первое на второе и получаем разуплотнение в 2,24 раза. Увеличение объема в два с лишним раза – много это или мало? Если впервые сталкиваешься с мыслью о реальности расширения планеты, то это кажется много, если же догадываешься о возможном диапазоне уплотнения металлов в виде ионных гидридов, то «два с лишним» представляется недостаточным.

Наши знания о глубинном строении планеты базируются в основном на данных сейсмологии, и эти данные дают нам только скоростные характеристики, но ничего не говорят о плотности. Распределение плотностей по радиусу планеты не определяется из геофизических данных, а подбирается таким образом, чтобы построенная модель строго соответствовала двум параметрам – суммарной массе Земли и ее моменту инерции. Эти параметры определены в астрономии с достаточной точностью. Многие десятилетия в справочной литературе кочуют одни и те же плотностные модели, построенные в середине прошлого века. В них строго соблюдаются указанные параметры. И хотя в этих моделях ничего не говорится о составе внутренних сфер планеты, а только о распределении плотности по ее радиусу, тем не менее все они отстроены под «железное ядро и силикатную мантию». Но у нас теперь другая Земля, и мы вправе отстроить свое распределение плотностей, разумеется, при сохранении массы и момента инерции планеты.

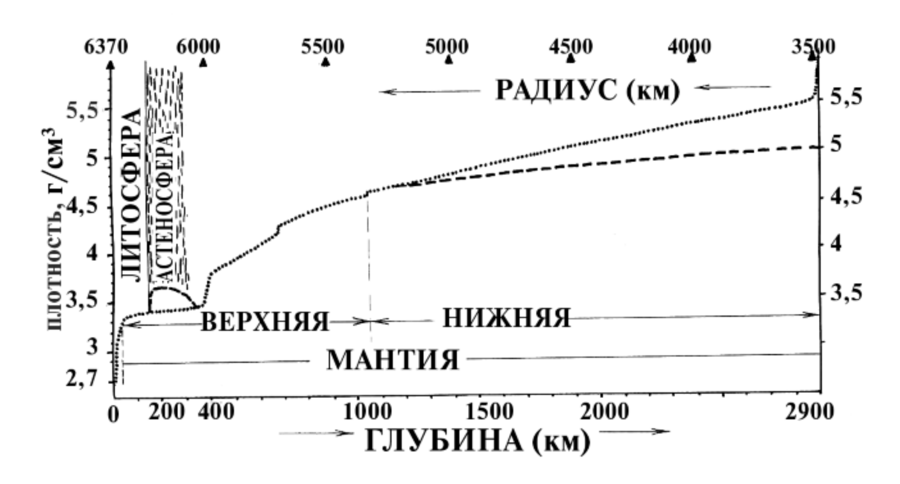
В *разделе 6.1 (Внутреннее ядро)* мы сетовали на то, что плотность внутреннего ядра, приводимая в геофизических моделях, явно меньше той, что могут обеспечить ионные гидриды. Но, оказывается, в нашей модели мы можем (вернее, обязаны) удвоить

плотность внутреннего ядра. Давайте обсудим, почему мы обязаны это сделать, и какие изменения при этом следует внести в остальной объем планеты, чтобы сохранить ее массу и момент инерции? Здесь важно помнить, что внутреннее ядро составляет всего 1.8% в общей массе планеты и что массы, расположенные близко к центру вращения, дают малый вклад в суммарный момент инерции. К примеру, вклад от одного килограмма, расположенного во внутреннем ядре на расстоянии 1000 км от оси вращения планеты, в 40 раз меньше вклада от килограмма на расстоянии 6300 км (согласно $J = r^2 \cdot \Delta m$).

На ***рисунке 12а*** точечным пунктиром показано распределение плотности в коре и мантии в рамках традиционных представлений о силикатной мантии (Haddon and Bullen, 1969). Здесь отражены скачки в плотности в верхней мантии, привязанные к сейсмическим данным. Градиенты нарастания плотности в нижней мантии (глубже 1050 км) приняты по результатам ударного сжатия окислов (из которых состоят силикаты). При данном варианте распределения плотности в мантии исследователи просто вынуждены приписать ядру плотность строго в интервале от 10 до 12,5 г/см^3. В противном случае не удается сохранить суммарную массу и момент инерции планеты.

Рис. 12а.

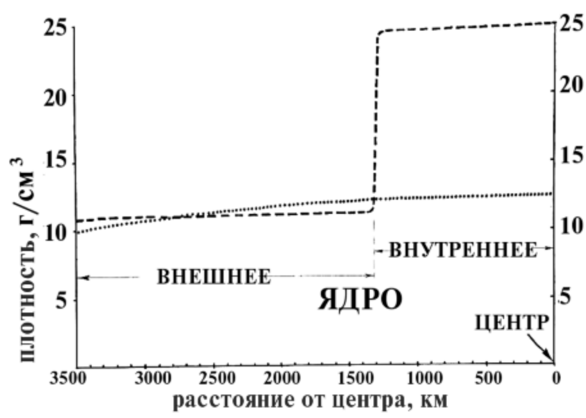
Распределение плотности в мантии:
точечный пунктир – в свете традиционных представлений
о силикатном составе мантии, обычный пунктир – согласно нашей модели.
Ключевой момент – уплотнение астеносферы.



В рамках нашей модели мы можем принять такой же характер распределения плотности в верхней мантии (до глубины 1050 км), однако в нижней мантии наша металлосфера должна иметь существенно меньшие градиенты уплотнения (этим металлы отличаются от силикатов и окислов). Данная ситуация показана на ***рис. 12а*** обычным пунктиром. И при этом для сохранения массы Земли (так показывают расчеты) мы вынуждены увеличить вдвое плотность внутреннего ядра – до 25 г/см^3. Расчеты также показывают: чтобы набрать суммарный момент инерции планеты, мы должны предусмотреть увеличение плотности астеносферы на 0,2–0,25 г/см^3, а также несколько изменить характер распределения плотности во внешнем ядре при сохранении его массы (так, как показано на ***рис 12б***). Что же касается астеносферы, то это вообще ключевой момент нашей модели. Если в нашей астеносфере не обнаружится тенденция к уплотнению, то рухнет вся концепция, поскольку без этого нам не набрать (в рамках нашей модели) суммарный момент инерции. Вместе с тем достижение давлений порядка 50–60 кбар не составляет проблемы для современного экспериментального оборудования, и эту «тенденцию» легко проверить.

Рис. 12б.

Распределение плотности в ядре планеты: точечный пунктир – в свете традиционных представлений (ядро железное), обычный пунктир – согласно нашей модели.



Итак, если у нас под литосферой залегает металлосфера (с ее малыми градиентами уплотнения глубже 1050 км), то уже одно это требует резкого увеличения плотности внутреннего ядра планеты. Проведенные оценки показывают, что мы действительно можем

(должны) вдвое увеличить плотность внутреннего ядра. Плотность в 25 г/см^3 многим может показаться невероятно высокой. Вместе с тем некоторые химические элементы имеют почти такую же плотность при атмосферном давлении. К примеру, плотность металла иридия – 22,65 г/см^3. Да, конечно, у него большая атомная масса, но у металла висмута атомная масса существенно больше, а плотность в два с лишним раза меньше (9,84 г/см^3). В общем, значение плотности 25 г/см^3 для внутреннего ядра, диктуемое сжимаемостью металлов в виде ионных гидридов, не является чем-то фантастичным, и я надеюсь на скорое подтверждение этого в эксперименте (как уже не раз случалось при разработке данной концепции).

** Существует корреляция – чем выше плотность, тем выше скорости прохождения сейсмических волн. И действительно, на сейсмических разделах, где скорости возрастают скачком, также возрастает плотность. Вместе с тем по физическому закону скорости и плотности в твердых телах находятся в обратной зависимости согласно выражению: $V_p^2 = E/d$, где E – модуль упругости, d – плотность. Если при фазовом переходе скорости возрастают, то это связано с резким увеличением модуля упругости, что перекрывает обратное влияние плотности. По этой причине не следует думать, что принимаемая нами высокая плотность внутреннего ядра должна была бы обусловить высокие скорости.*

При такой плотности гидридов в мегабарном диапазоне давлений, развитие изначально гидридной Земли должно было привести примерно к пятикратному увеличению ее объема (25 : 5 = 5, делитель здесь – это плотность металлосферы над границей с ядром).

Важное значение имеет своеобразие самого процесса расширения планеты. Вызвать разложение гидридов можно лишь тепловым нагревом. Для этого привлекается радиогенное тепло. Кстати, изначально на нашей планете урана и калия было на порядок больше, чем в метеоритах, тория больше примерно в 2 раза. Так определила магнитная сепарация согласно потенциалам ионизации этих элементов ***(см. рис. 4)***. При таких концентрациях урана, тория и калия Земля должна нагреваться на 100 °С примерно за каждые 7–10 миллионов лет в мезокайнозое, а в нижнем архее за каждые 2–3 миллиона лет (тогда радиогенного тепла выделялось больше).

Повышение температуры в определенной зоне глубин (в наружной сфере внутреннего ядра) до температурного предела устойчивости гидридов вызывает их разложение, и в данной зоне

начинается разуплотнение и дегазация водорода во вне. Энергия для разуплотнения берется из тех энергетических запасов, которые были сделаны в виде химического потенциала водорода на стадии формирования (и уплотнения) твердого тела изначально гидридной Земли (в нашем понимании, потенциальная энергия при гравитационном сжатии планеты не выделялась в виде тепла, а трансформировалась в химический потенциал водорода).

Энергетический баланс этого процесса можно представить в следующем виде:

$$\mu + \Delta Q_R = p\,\Delta V + \Delta Q_H\uparrow,$$

где μ – химический потенциал водорода в гидридах,
ΔQ_R – радиогенное тепло,
$p\,\Delta V$ – работа по разуплотнению (ΔV) при давлении (p) в зоне разуплотнения,
$\Delta Q_H\uparrow$ – тепло, уносимое из зоны разуплотнения протонированным водородом как теплоносителем.

Выше мы уже отмечали, что *«изначально гидридная Земля»* изначально была холодной. В рамках наших построений, работа по расширению планеты ($p\,\Delta V$) целиком поглощает энергию химического потенциала и преобладающую часть радиогенного тепла (ΔQ_R), а остаток уносится водородом-теплоносителем. Соответственно, у нас нет оснований предполагать существенный разогрев планеты, покуда у нее имеются запасы гидридов, идет расширение и происходит дегазация водорода. Ниже *(в разделе 14)* будет показано, что термодинамика Земли, по сути, такая же, как у живых организмов, которые способны поддерживать температуру на одном уровне на протяжении всей своей жизни.

Вместе с тем это слишком осредненная (во времени) картина, что-то вроде «средней температуры по больнице» за несколько лет. На самом деле, в пределах интервала времени каждого тектономагматического цикла земные недра, скорее всего, испытывали то сильный разогрев, то глубокое охлаждение. Рассмотрим, что будет, когда во внешней сфере внутреннего ядра температура (за счет радиогенного тепла) поднялась выше температурного предела устойчивости гидридов, и они претерпели диссоциацию. Сжимаемость гидридов много больше сжимаемости металлов с растворенным в них водородом (даже если водорода в них не меньше, чем в гидридах). Следовательно, в сфере, где гидриды распались,

сразу начиналось разуплотнение. Эта работа осуществлялась за счет энергии химического потенциала, которая выделялась при распаде гидридов. Но поскольку часть тепла уходила с водородом-теплоносителем во внешние сферы, то температура в зоне разуплотнения начинала понижаться.

В итоге зона разуплотнения присоединялась к внешнему ядру, и в нем увеличивалась концентрация водорода (становилась сверхравновесной). В результате этого начиналась дегазация водорода от ядра в металлосферу и далее. Процесс дегазации прекращался по мере распространения низких температур из зоны разуплотнения на объем внешнего ядра.

Теперь, чтобы все повторилось, надо ждать, пока вновь накопится радиогенное тепло, ядро согреется и в очередной сфере внутреннего ядра температура дойдет до разложения гидридов. И эта температура должна быть несколько выше, чем в предыдущем этапе, поскольку с глубиной (т.е. с увеличением давления) устойчивость гидридов повышается. Таким образом, расширение планеты должно иметь циклический характер. И в каждом цикле есть этап разуплотнения с последующей дегазацией водорода (когда температура зоны разуплотнения и сопредельных зон понижалась), и этап стабильного существования планеты (когда температура внутренних сфер планеты вновь повышалась за счет накопления радиогенного тепла).

Обратите внимание: цикличность определяется характером разложения гидридов внутреннего ядра планеты. Когда-то «изначально гидридная Земля», по сути, целиком состояла из гидридов. Но сейчас внутреннее ядро (гидридное) занимает примерно 1% объема планеты. Совершенно очевидно, что земные запасы гидридов близки к исчерпанию. В данной связи мы вынуждены полагать, что приходит конец привычной цикличности в характере развития планеты и, возможно, альпийский цикл будет последним полно проявленным тектономагматическим циклом *.

** Однако здесь следует сделать оговорку. Изначально в Земле были сформированы разные гидриды. И вряд ли у них одинаковые температуры разложения и одинаковая зависимость этих температур от давления. Вполне возможно, что какие-то гидриды сохранятся во внешнем ядре наряду с металлами, содержащими водород в виде раствора. В таком случае следует полагать, что цикличность процессов разуплотнения и дегазации водорода может иметь место и во внешней сфере внешнего ядра по тому же сценарию, который мы предложили для ядра внутреннего. Как бы то ни*

было, но планета имеет два фронта разуплотнения: один – по границе внутреннего ядра, второй – по разделу ядра и металлосферы. Возможно, это связано с тем, что в составе нашей планеты резко преобладают два элемента – кремний и магний. Но прежде чем рассуждать на эту тему, надо получить экспериментальные данные по сжимаемости гидридов и их устойчивости от нагрева под давлением.

Любопытно отметить, чтобы продолжительность циклов в фанерозое была порядка 100 млн. лет, температура в ядре Земли в связи с разуплотнением должна периодически понижаться примерно на 1000 °C (так показывают расчеты). Однако эту оценку не нужно воспринимать в качестве «reductio ad absurdum», поскольку в рамках наших построений внешнее ядро может быть жидким и электропроводящим даже при комнатной температуре *(см. раздел 6.2)*.

8.2. Идея расширяющейся Земли

Идея расширяющейся Земли в геологии имеет давнюю историю. На этой основе можно было бы решить спор фиксистов и мобилистов, который с переменным успехом длится многие десятилетия. Трудно спорить с фиксистами, когда они указывают, как раз за разом на протяжении геологического времени в одни и те же локальные зоны происходят инъекции одних и тех же интрузивных серий, часто весьма специфического состава и явно мантийного генезиса. Очевидно, это свидетельствует о том, что земная кора стоит на месте относительно зон магмагенерации в мантии. Но с другой стороны, как отрицать то, что Атлантический океан образовался в результате гигантского раздвига. Ведь если его убрать, то континенты (по границе материкового склона) сложатся без зазоров и геологические структуры составят единый, легко читаемый рисунок. Кто-то образно заметил, что точно также становится понятным смысл написанного при правильном расположении разорванных частей текста. На расширяющейся Земле континенты продолжают стоять на месте относительно своих глубинных корней (это кредо фиксистов), но по мере расширения планеты они расходятся, и между ними появляются и растут океанические впадины (это кредо мобилистов).

Однако гипотеза расширяющейся Земли не пользуется широкой поддержкой среди геологов, поскольку не было реального механизма этого расширения. Господствующая догма в науках о Земле («ядро – железное, мантия – силикатная») позволяет пла-

нете изменять свой объем лишь в пределах долей одного процента. В рамках наших построений планета обязана испытывать существенное расширение, и поэтому рассмотрим те возражения, которые высказывались в адрес расширяющейся Земли как геологической концепции.

– Некоторые исследователи полагают, что расширение Земли должно было бы обусловить *образование архипелагов* мелких островов на месте современных континентов в связи с растаскиванием последних в процессе «разбухания».

– Если океаны считать структурами растяжения, то почему расширение Земли приобрело особенно *бурные темпы* с конца палеозоя и в мезозое, когда были заложены Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый океаны и резко увеличилась площадь Тихого?

– Существует также мнение, что расширение Земли не согласуется с интенсивным *горизонтальным сжатием* коры, которое установлено в массивах кристаллических пород, и оно свидетельствует скорее о режиме контракции планеты на современном этапе.

– Весьма распространено мнение, что на фоне расширения Земли нельзя объяснить складчатость, требующую горизонтальных сжимающих напряжений.

Обсудим сначала первых три возражения, проблема складчатости будет рассмотрена ниже в соответствующем разделе.

Образование архипелагов мелких островов можно было бы ожидать, если бы разбухание было непосредственно под корой или под литосферой. Однако в нашем случае фронт разуплотнения находится в ядре и постепенно перемещается вглубь планеты в связи с увеличением мощности металлосферы. Чтобы понять, каков будет при этом характер изменения структур растяжения, был поставлен простейший эксперимент: небольшой резиновый мячик покрывали парафиновой оболочкой и затем надували при помощи насоса. Тонкая парафиновая оболочка реагировала на расширение мячика («ядра») образованием густой сетки мелких трещин, достаточно равномерно распределенных по поверхности модели (глобуса). Но с увеличением мощности парафинового слоя (мантии) возникала все более грубая трещиноватость. Наконец, когда толщина оболочки достигала 1/6–1/5 радиуса модели, расширение вызывало образование единой системы трещин, раскалывающих парафиновый слой на несколько (шесть – восемь) крупных плиток, которые по конфигурации в ряде случаев оказывались удивительно схожими с очертаниями континентов.

Разумеется, к этим экспериментам нельзя относиться серьезно. Их нельзя подвести под требования теории подобия. Мой сосед, талантливый математик, принимавший живейшее участие в этих «кухонных опытах», «уважительно» называл их *«экспериментами на клизматроне»* (поначалу мы использовали детскую клизму). Вместе с тем совершенно очевидно, что с увеличением мощности металлосферы расширение земного шара также должно выражаться в постепенном укрупнении структур растяжения при одновременном уменьшении их числа, пока, наконец, все это не предстанет в виде единой системы рифтогенных зон растяжения, положившей начало современным океанам. Отсюда однозначный вывод: в прошлом, в палеозое и далее вглубь веков, океанов, подобных современным, не было и быть не могло. Этот вывод наверняка «поставит на дыбы» многих тектонистов, но в данном вопросе, по-моему, следует больше слушать литологов, которые относятся весьма скептически к существованию в прошлом океанов, аналогичных нынешним. И дело даже не в том, что в осадках «палеоокеанов» отсутствуют красные глины, обогащенные железом и марганцем, а в уникальной фациальной выдержанности осадков современных океанов на расстояниях в тысячи километров. Тогда как в «палеоокеанах» протяженность слоев однотипных (фациальновыдержанных) осадков ограничивается первыми десятками километров. Совершенно очевидно, что палеогеография бассейнов осадконакопления в прошлые эпохи была совершенно иной, соответственно, иной была и тектоника.

Таким образом, наши «эксперименты на клизматроне» позволяют понять, почему океанообразование тяготеет к поздним этапам развития планеты. Дорогой читатель, если вас шокирует оскорбительно-примитивный уровень решения (с помощью «клизматрона») столь важных проблем, то давайте будем считать это моей неуместной шуткой, отражающей мой эстетический и интеллектуальный уровень. В конце концов, все это можно представить более благопристойно, в виде мысленного эксперимента со сферой, моделирующей расширение, и относительно жесткой оболочкой на ней, способной реагировать на это расширение проявлением систем разрывных нарушений.

На *темпы расширения* должна также влиять различная степень уплотнения гидридов по радиусу планеты. Совершенно очевидно, что по мере роста давлений, т.е. при движении вглубь изначально гидридной Земли, уплотнение гидридов нарастало. Из этого автоматически следует, что по мере передвижения фронта разложения

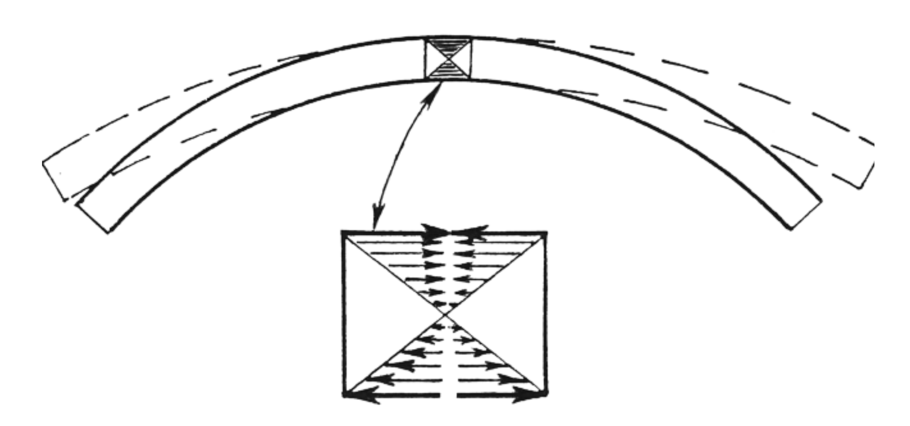
гидридов вглубь планеты масштабы разуплотнения должны были увеличиваться. С этим можно связать акселерацию процесса образования океанов во времени. Более детально модель образования океанов рассмотрена ниже.

Теперь обсудим, как в рамках изначально гидридной Земли объяснить интенсивное *горизонтальное сжатие* в массивах кристаллических пород, достигающее 1000 кг/см^2 на глубине 1 км (по данным многочисленных измерений), что в несколько раз превышает литостатическую нагрузку.

Выше мы говорили о падении температуры в зоне разуплотнения и прилегающих сферах. Это может вызвать небольшую «термическую усадку» и обусловить явление контракции во внешних сферах сразу после этапа разуплотнения. С другой стороны, при расширении планеты уменьшается кривизна литосферных блоков. Это также может обусловить горизонтальное сжатие верхних горизонтов литосферы ***(рис. № 13)***, которое должно закономерно уменьшаться с глубиной. В реальных условиях трещиноватость и пористость, свойственные приповерхностному слою, обеспечат быструю релаксацию этих напряжений. Поэтому максимальное горизонтальное сжатие в кристаллических массивах должно наблюдаться не на поверхности Земли, а на некоторой глубине, где горное давление начинает закрывать системы пор и трещин.

Рис. 13.

Характер распределения напряжений (показан стрелками) при уменьшении кривизны литосферных блоков.



Здесь открывается возможность проверки реальности расширения нашей планеты на современном этапе, так как если оно происходит сейчас, то связанное с ним избыточное горизонтальное сжатие после достижения максимума, на глубине примерно 1 км, ниже должно вновь пойти на убыль. Если такое явление действительно имеет место, то трудно представить иное объяснение, кроме расширения планеты, которое уменьшает кривизну литосферных блоков, в результате чего и появляется горизонтальное сжатие. До глубины в 2,5–3 км боковое давление, связанное с передачей упругих напряжений от вертикальной литостатической нагрузки, можно игнорировать, поскольку оно на этих глубинах на порядок меньше избыточного горизонтального сжатия.

При увеличении объема планеты в 5 раз ее радиус увеличивается в 1,71 раза, а поверхность примерно в 3 раза. В будущем, когда Земля окончательно вырастет, она будет сравнительно мало отличаться от своего современного состояния. Ее радиус будет 6700 км (сейчас – 6371 км), длина окружности на экваторе прирастет на 2000 км и составит 42076 км, ускорение свободного падения уменьшится примерно на 10%.

Однако в прошлом при меньшем радиусе сила тяжести на планете была существенно выше, а ее вращение вокруг собственной оси было гораздо более быстрым (сутки были короче, а число дней в году больше). Расчеты показывают, что изначально наша планета вращалась в 3,5 раза быстрее, и в сутках было примерно 7 часов, а сила тяжести на поверхности была в 3,5 раза больше современной (3,5 g). В принципе это можно было бы, подтвердить (или опровергнуть) на данных по литологии и палеонтологии.

К примеру, угол естественного откоса в сыпучих грунтах зависит от характера частиц этих грунтов (их формы, размеров, плотности, шероховатости поверхности, влажности и чего-то там еще), а также от силы тяжести. Чем выше сила тяжести, тем положе естественный откос. Японские геологи провели массовые замеры углов естественного откоса в мезозойских песчаниках эолового происхождения. Вывод гласил: в нижнем мелу сила тяжести была в 2 раза выше современной.

Канадский палеонтолог Хант ухитрился выделить годичный ритм в строматолитах верхнего протерозоя и подсчитать количество дней в году того времени (в строматолитах в виде очень тонкой слоистости фиксируется суточный цикл жизнедеятельности организма). Дней в году оказалось в 3 раза больше, чем сейчас, со-

ответственно, планета в верхнем протерозое вращалась вокруг своей оси в три раза быстрее.

Не нужно быть провидцем, чтобы понять, какое «признание» получили эти работы и их авторы, когда все вокруг полагали, что такого быть не может, потому что не может быть никогда, ибо Земля с *«железным ядром и силикатной мантией»* не способна сколь либо заметно менять свой объем. Интересно, сколько ярких пионерских работ загубила на корню эта «фундаментальная» догма в науках о Земле и сколько еще загубит, покуда научное сообщество не освободится от ее тиранического господства. И я надеюсь, что исследования в этом направлении будут расширяться.

Мне представляется, что если литологи включат изменение гравитации в арсенал причин, определяющих эволюцию характера седиментации во времени, то сразу многое станет понятным. К примеру, возьмем турбидиты (осадки, выпадающие из суспензионных или мутьевых потоков), для которых характерна градационная (отсортированная) слоистость. Совершенно очевидно, что если в прошлом сила тяжести была больше, то эта самая «отсортированность» осадка по фракциям (по размерности частиц) должна быть четче (вспомните, центрифугирование взвесей применяется для разделения их на фракции). Соответственно, должны быть более четкими границы между слоями. Должна уменьшаться мощность ритма (песчаник-алевролит-аргиллит), поскольку при большей силе тяжести чаще происходил срыв осадка со склона и муть поставлялась чаще, но меньшими порциями. Должно также сокращаться расстояние от зоны зарождения мутьевого потока до места отложения взвеси в виде осадка. Короче говоря, в современное время (когда сила тяготения в два с лишним раза меньше, чем в юре) исключено образование такого отсортированного флиша, как на горе «Шелудивая» (свита «Таврическая», T_3 - J_1, Крым, полигон геологической практики). Я не знаю, как выглядят современные турбидиты (догадываюсь только, что они не литифицированы). Моя узкая специализация – петрология гранитоидных формаций фанерозоя, и у меня не было никакой нужды интересоваться такими тонкостями в литологии современного осадконакопления. Однако если современные турбидиты действительно отличаются от классического флиша юры (не только степенью окаменения), то в рамках предлагаемой концепции причину этого прежде всего следует связывать с уменьшением силы тяготения на поверхности планеты.

Скелет живого организма предназначен противостоять силе гравитации. Разумеется, речь идет о сухопутных организмах, оби-

татели водной среды при любой гравитации будут в состоянии невесомости. Пермская сухопутная рептилия – иностранцевия имела массу примерно равную массе современного медведя гризли. Но если поставить рядом скелеты этих двух животных, то эффект будет весьма впечатляющий. Скелет иностранцевии отличается такой массивностью, как будто природа явно перебрала с запасом прочности. Но природа ничего не делает сверх необходимости, и, скорее всего, это мы неправильно оцениваем условия на планете того времени. Я вижу в этом следствие большей гравитации.

Палеонтологи давно приметили, что скелеты у длительно существующих видов со временем становятся менее массивными и более ажурными. Они дали этому явлению термин – «грацильность» (от слова «грация»), намекая на стремление природы к изяществу и совершенству. Хороший намек, но в рамках нашей концепции в этом скорее просматривается целесообразность в связи с уменьшением силы тяготения. Господа палеонтологи, подумайте над этим, пожалуйста. И еще, я был бы очень признателен, если бы кто-нибудь из вашего сообщества сопоставил скелет варана с о-ва Комодо с пермской или юрской сухопутной рептилией сходной формы и размеров.

В некоторых приключенческих фильмах диплодоки, тиранозавры и другие гигантские монстры резво бегают по суше, чиня разбой и разрушения. У неискушенного зрителя может возникнуть впечатление, что и в свое мезозойское время они также населяли долы и веси и резво путешествовали по ним. Однако, на самом деле, тогда в своем мезозое они обитали в водной среде лагун и прочих мелководий, т.е. занимали очень узкую экологическую нишу, что всегда опасно для существования. Длительные прогулки по суше для них были невозможны из-за высокой силы тяжести.

8.3. Модель образования океанов

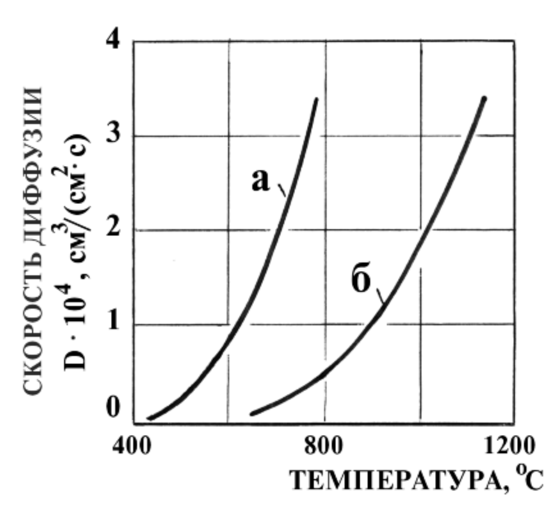
Модель образования океанов можно строить только после того, как мы обсудим состояние металлосферы. В нашем понимании, развитие Земли выражается в уменьшении массы ядра и увеличении объема металлосферы в связи с дегазацией водорода. При этом водород должен проходить через всю толщу металлосферы, что отнюдь не является проблемой. Атом водорода (в виде протона) проходит от ядра до литосферы менее чем за 1000 лет. Проблема в том, что металлосфера, с растворенным в ней водородом, обязана быть столь пластичной, что ни о какой генерализа-

ции структур растяжения в единую общепланетную систему рифтогенных зон не может быть и речи. Однако не будем торопиться с выводами, давайте сначала рассмотрим эволюцию характера дегазации водорода во времени.

Мы уже знаем про высокую теплоемкость протонированного водорода и знаем о феноменально высоких скоростях его диффузии сквозь металлы. Добавим к перечисленному экспоненциальную зависимость скорости диффузии водорода в металлах от температуры ***(рис. 14)***. Все это приводит к тому, что водород, отделяющийся от ядра в виде достаточно равномерного (и разреженного) облака, быстро разбивается на отдельные струи, которые на выходе собираются в более крупные русла ***(рис. 15в)***. Это слияние обусловлено перехватом слабых струй более мощными, так как последние должны быть более прогретыми и, следовательно, в них выше скорость диффузии (водород как теплоноситель прогревает зону своей инфильтрации). Данное явление можно сравнить с притяжением и перехватом мелких рек крупными, поскольку последние имеют больший врез долин. Кроме того, возможно магнитное стягивание струй протонного газа, подобно проводникам электричества с однонаправленными токами.

Рис. 14.

Экспоненциальная зависимость скорости диффузии водорода в металлах от температуры: а – в никеле (при P=1 атм.), б – в платине (P=0,1 атм.).



Таким образом, металлосфера планеты, по мере увеличения своей мощности, одновременно очищается от водорода, теряет пластичность и начинает реагировать на расширение как «относительно хрупкая среда». Взятое в кавычки означает, что в металлосфере не могут образовываться разрывы сплошности с зиянием, как в наших «экспериментах на клизматроне». В моем понимании, «относительная хрупкость» лишь обеспечивает концентрацию растягивающих напряжений в узких зонах. В лексиконе геологов есть выражение «тектонически ослабленная зона», вероятно, здесь можно использовать это расплывчатое понятие.

На ***рисунках 15а, б, в*** изображена принципиальная схема постепенной канализации потока водорода сквозь металлосферу в процессе развития планеты. И эта схема также говорит о невозможности существования в прошлом океанов, подобных современным, но уже по причине пластичности металлосферы, насыщенной водородом. В прошлом (нижний палеозой и глубже) из-за этой пластичности расширение не могло проявиться в виде единой планетарной системы рифтогенных зон.

Выше было обещано объяснить природу слоя ***D"***, который располагается непосредственно над границей с внешним ядром, имеет мощность порядка 200–300 км и в котором заметно уменьшаются скорости прохождения сейсмических волн. В нашем понимании, этот слой обусловлен облаком водорода, обволакивающим ядро планеты ***(см. рис. 15в).*** Здесь водорода недостаточно, чтобы обусловить существенное уплотнение, но его хватает для проявления эффекта пластичности.

С каждым циклом расширения планеты тектонически ослабленные зоны появлялись в низах металлосферы. Отсюда они распространялись вверх с одновременным заполнением пластичным веществом из слоя *«**D"**»*. Таким образом, по тектонически ослабленным зонам (зонам растяжения) происходило нагнетание протрузивных клиньев. Когда эти протрузии доходили до литосферы, в коре начинали формироваться зоны рифтогенеза *(эмбриональная стадия, **рис. 16а**)*.

При дальнейшем расширении планеты и увеличении объема протрузивных клиньев литосфера постепенно утонялась, континентальная кора раздвигалась, и закладывались протяженные моря типа Красного моря (с корой океанического типа), которые с поверхности трассировали глубинные зоны растяжения. Это *«детская стадия»* ***(рис. 16б)*** в развитии океанов.

Рис. 15.

Эволюция характера дегазации водорода от ядра во времени.
1 — литосфера, 2 — металлосфера и потоки водорода в ней, 3 — внешнее ядро, 4 — внутреннее ядро (гидриды). Этапы: поздний протерозой (а), палеозой(б), мезозой и кайнозой (в).

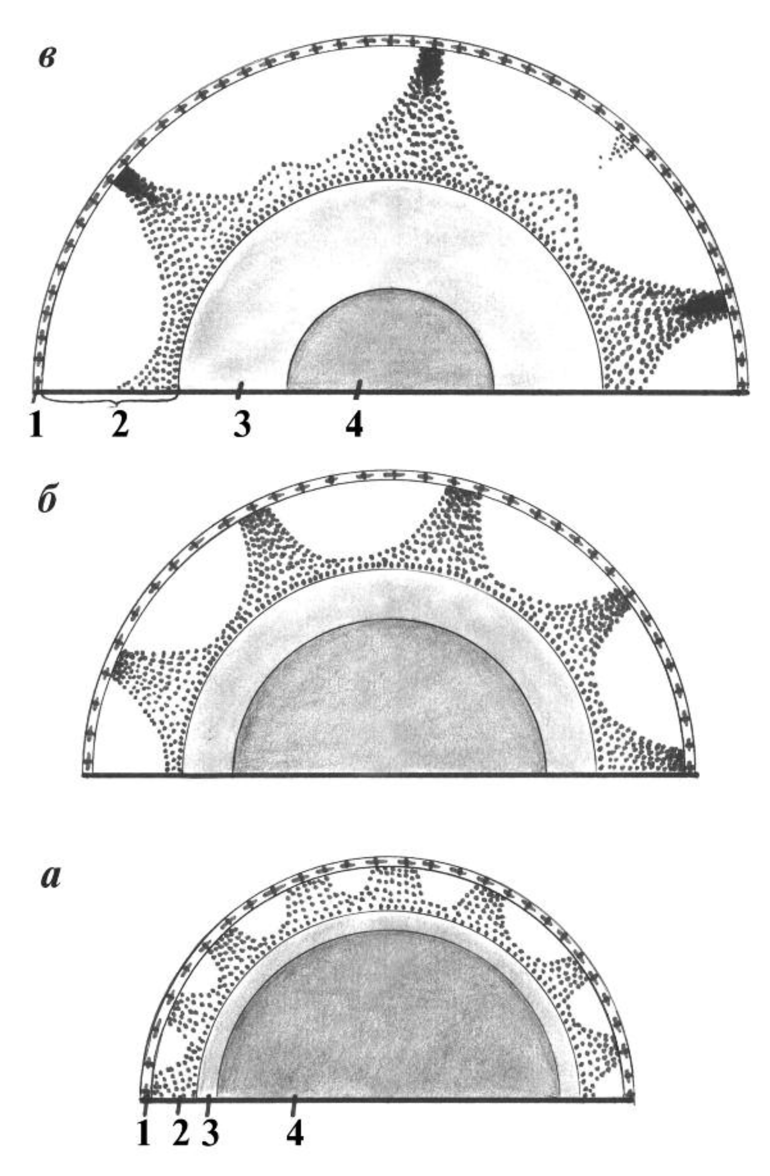
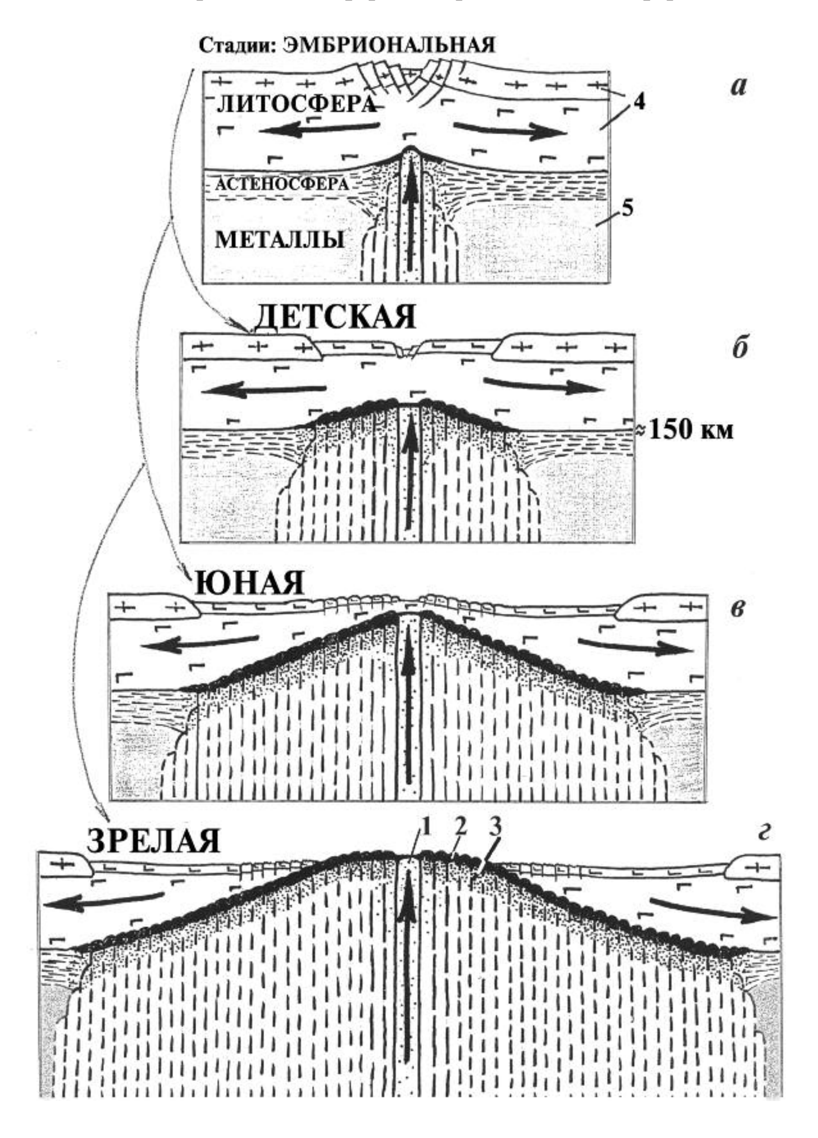


Рис. 16

Модель образования океана.
1 - Новейший диапир интерметаллических силицидов, точечный крап отражает присутствие водорода; 2 - молодой «силикатный матрас», образованный при силикатизации силицидов и покрытый сверху молодыми базальтами; 3- астеносфера, обусловленная скоплением водорода; 4- древняя литосфера; 5 - древняя металлосфера



Следующая стадия знаменуется появлением срединного поднятия. На этой *«юной стадии» **(рис. 16в)*** срединные поднятия обусловлены выдавливанием блоков древней литосферы, которые как бы «выштамповывались» глубинными диапирами из перекрывающей их силикатной оболочки. Это результат формирования все ближе и ближе к поверхности планеты «частокола» сверхглубинных диапиров.

Наконец, наступает момент, когда глубинные диапиры выходят на поверхность океанического дна и начинают формировать срединно-океанический хребет. Это *«зрелая стадия»* в развитии океанов ***(рис. 16г)***.

Вещество интерметаллических диапиров берется из слоя ***D''***, непосредственно прилегающего к ядру и, следовательно, совсем недавно находилось в ядре планеты. По этой причине оно не могло потерять изначального содержания кислорода, поскольку не подвергалось длительной водородной продувке, как более древние объемы металлосферы. Вместе с тем оно должно содержать какую-то концентрацию водорода (он всегда есть в слое ***D''***), истечение которого непременно вызывало перераспределение кислорода. В результате в головной части диапира интерметаллические силициды постепенно трансформировались в силикаты из-за «водородной продувки» и выноса кислорода из более глубинных зон. Следовательно, раскрытие океана, по нашей модели, сопровождается как растяжением и утонением древней литосферы, так и некоторым наращиванием ее мощности в связи с трансформацией силицидов в силикаты в головных частях диапиров. Последний процесс представляется весьма масштабным, и, кроме того, он идет не только в рифтовой долине, но и далеко за ее пределами, на разных глубинах, в соответствии с положением головных частей интерметаллических диапиров ***(см. рис. 16а, б, в, г)***. Данные по геохимии (глава 13) заставляют нас считать, что диапиры силицидов еще в процессе внедрения (на подходе к поверхности) уже приобретали «оторочку» из силикатов в своей головной части.

Выше было показано, что поток водорода, изначально равномерный по плотности, обязательно должен был обрести «струйный» характер. В соответствии с этим происходил и вынос кислорода. Поэтому сначала мощность литосферы под океанами наращивалась более или менее равномерно, но затем (по мере «старения» диапира) она начинала прирастать по отдельным зонам в зависимости от формы водородных струй. Плотность силицидов примерно 3 г/см^3. Плотность образующихся по ним силикатов то-

го же порядка, но силикаты содержат до 45% (вес.) кислорода, поэтому почти в два раза должен увеличиваться объем вещества в процессе силикатизации силицидов. Это проявляется в особенностях рельефа дна океанов, который осложняется положительными формами (горстами), преимущественно в виде изолированных хребтов небольшой протяженности. Изолированность хребтов обязательна, поскольку водородные струи не могут идти рядом, они непременно сольются.

Уникальным и единственным примером рельефа этого типа на континенте является провинция Хребтов и Бассейнов, которая практически полностью сосредоточена в штате Невада США и частично заходит в западные части штатов Аризона и Юта. Уникальность этой провинции обусловлена тем, что на планете это единственное место, где океанический хребет (зрелого океана), с его спредингом в осевой части, «ныряет» под континент, вызывая рифтогенное раздробление на обширной территории со всеми явлениями, сопутствующими этому процессу. И это место – запад Соединенных Штатов Америки.

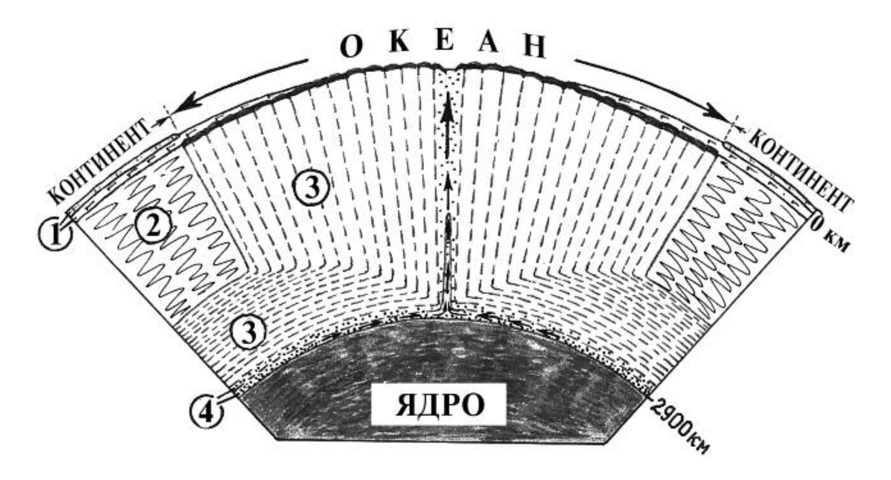
На зрелой стадии в осевых частях океанов глубинные диапиры начинали подходить совсем близко к поверхности планеты. Здесь они вступали в контакт с гидросферой, что сопровождалось бурным химическим взаимодействием с кислородом воды. В результате на головах диапиров появлялись «шляпы» силикатного расплава, который, однако, быстро остывал и превращался в силикатную «корку». *(Наша металлосфера представлена интерметаллическими соединениями и сплавами на основе кремния, магния и железа с добавками Ca, Al, Na и других металлов; и почти все они активно окисляются при контакте с водой с выделением большого количества тепла.)* С момента вступления океанов в «стадию зрелости» изменений в их структуре больше не предполагается, однако возможно дальнейшее увеличение размеров. На ***рисунке 17*** показана глубинная структура зрелого океана в разрезе Земли.

Здесь мы вынуждены немного отклониться от темы, чтобы обсудить одно весьма необычное (можно сказать, парадоксальное) явление, которое должно быть в предложенном механизме. Сверхглубинные диапиры, нагнетаемые в осевые зоны океанов, должны быть холодными. Дело в том, что в процессе подъема они разуплотняются примерно в 1,7 раза. Разумеется, диапиры нагнетаются по тектонически ослабленным зонам, по которым растягивающие усилия снимают часть нагрузки от давления выше-лежащих толщ. Но какова эта часть? Определить ее не пред-

ставляется возможным, и отсюда большая неопределенность в оценках. Кроме того, нужно учитывать противоположный фактор – выделение тепла за счет внутреннего трения при вязко-пластичном течении протрузий, что усугубляет неопределенность оценки.

Рис. 17.

Глубинная структура зрелого океана: 1 — литосфера, 2 — древняя металлосфера, 3 — молодая металлосфера, покрытая сверху молодым «силикатным матрасом», образовавшимся при окислении силицидов в головных частях диапиров, 4 — обогащенный водородом слой D'', новейшая зона разуплотнения, из которой питаются (нагнетаются) диапиры.



Тем не менее разуплотнение «против давления» – процесс весьма энергоемкий. Расчеты показывают, что даже если растягивающие усилия в тектонически ослабленных зонах снимают 2/3 нагрузки от давления вышележащих сфер, то все равно разуплотнение способно «скушать» весь запас тепла при стартовой температуре порядка 2500 °С. Признаюсь, меня это сильно интриговало, поскольку я не видел возможности примирить холодные диапиры с высокими тепловыми потоками в рифтогенных зонах. Само собой, я мог связать высокие тепловые потоки с выделением большого количества тепла при контакте интерметаллических диапиров с водой гидросферы. Реакции окисления кремния, магния, алюминия, кальция весьма экзотермичны. Но как разглядеть за этим близповерхностным явлением температуру сверхглубинных диапиров, действительно ли они холодные? Или я что-то сильно напутал с этим прогнозом?

Поначалу мне казалось невозможным проверить это, потому как диапиры везде должны контактировать с водой, и не только в океанах, но и на континентах, поскольку кора повсеместно обводнена в той или иной степени. Однако потом сообразил, что Байкальская зона рифтогенеза* вся поражена вечной мерзлотой и там везде отрицательные среднегодовые температуры. Под долинами в этой области вечная мерзлота прослеживается на 300–400 метров, а под хребтами ее мощность не менее километра. Разумеется, в мерзлоте могут быть проталины («талики», на языке мерзлотоведов). Однако они располагаются в основном под крупными реками и озерами, и площадь их распространения мала среди ареала ненарушенной мерзлоты. Вода не может проникать сквозь слой вечной мерзлоты, она попросту замерзает. Следовательно, кора этого региона должна быть обводнена в меньшей степени, а это как раз то, что нужно, и можно было надеяться, что тепловой поток здесь будет ниже среднего (фонового) для геологических провинций подобного рода (для древних платформ).

** Байкальская зона рифтогенеза имеет ширину около 200 км и протягивается на 1500 км. Озеро Байкал является лишь одной из впадин этой зоны.*

Согласитесь, такой сумасшедший прогноз можно было сделать только на основе концепции «изначально гидридной Земли». Ведь Байкальская зона рифтогенеза повсеместно подперта диапиром «аномальной мантии», в котором отмечаются пониженные плотности и скорости сейсмических волн. В рамках традиционных представлений, все привыкли это связывать с высокими температурами, а посему тепловой поток просто обязан быть выше фонового.

В свете наших построений, пониженные плотности и скорости обусловлены не высокими температурами, а тем, что «аномальная мантия» представлена интерметаллическими сплавами. Был изготовлен сплав из кремния, магния и железа, взятых в пропорции, как ее определила магнитная сепарация ***(см. табл. № 1)*.***

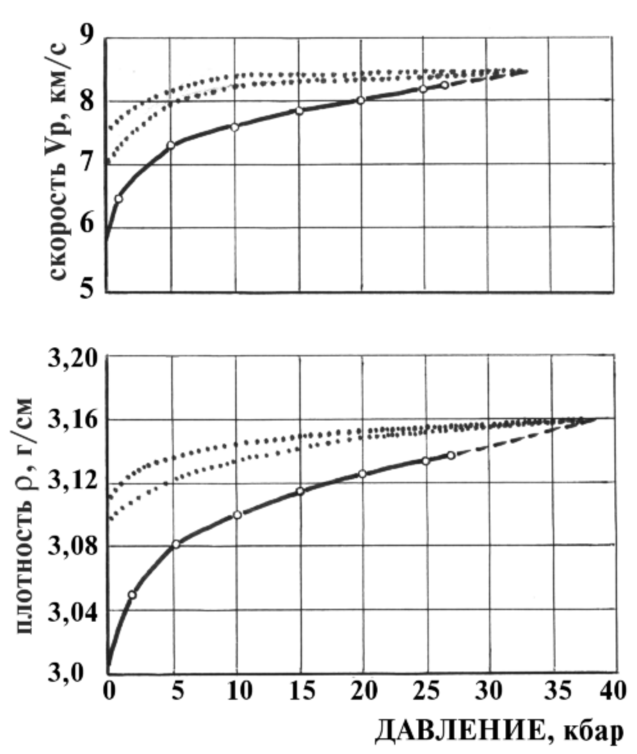
** В пересчете на 100% сплав содержал: кремния – 51, магния – 35,5 и железа – 13,5 % вес. Навеска была изготовлена из порошков металлов. Плавление проводилось в алундовом тигле в электровакуумной печи при степени разрежения порядка 10^{-5} – 10^{-4} мм ртут. ст. Температурный режим: нагрев до 1600 ^{0}С – 2 часа (с задержкой в области плавления магния на 0,5 часа), выдержка при*

1600 °C – 5 мин. Охлаждение – 2 ч. Для предупреждения разбрызгивания при плавлении тигель накрывали плотной крышкой, а для уменьшения пористости проводилось повторное плавление.

Для данного образца были определены сжимаемость и скорости прохождения сейсмических волн в диапазоне давлений до 27 килобар ***(рис. 18)***.

Рис. 18.

Скорости прохождения сейсмических волн и сжимаемость железо-магний-кремниевого сплава в диапазоне давлений до 27 кбар, за пределами этого интервала – экстраполяция. Точками показаны скорости и плотности в породах типа оливиновых габброноритов.



Согласно этим данным при давлении 11 килобар, что соответствует глубине 35 км, плотность становится равной 3,1 г/см^3, а скорость 7,6 км/с, что полностью соответствует значениям в аномальной мантии на этих же глубинах. Более того, в «аномальной мантии» геофизики отмечают аномально высокие (для силикатов) градиенты нарастания плотности и скоростей с глубиной, но

именно это свойственно исследованному образцу. Таким образом, все геофизические аномальности в глубинном диапире, подпирающем Байкальскую рифтовую зону, становятся нормой, если считать, что в основание коры внедряются не силикаты, а интерметаллические силициды. Мне оставалось только ждать, что покажут исследования теплового потока.

Следует отметить, уже в 70-х годах XX века стало ясно, что в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ) складывается парадоксальная ситуация – отсутствует региональная тепловая аномалия. Согласно бытующей точки зрения, такого быть не должно. Последовали новые энергичные исследования, и вот, через 30 лет, получен еще более парадоксальный результат – тепловой поток в БРЗ существенно ниже среднего для Забайкалья. Весной 2002 года в Иркутске в Институте земной коры состоялась защита докторской диссертации В.А.Голубева, в которой было объявлено ***«что средневзвешенное по площади БРЗ значение теплового потока, учитывающее все полученные к данному моменту величины, составляет лишь 46,1 мВт/м²»***. Среднее для Забайкалья равно 52± мВт/м². Фоновое значение для областей этого типа, не затронутых рифтогенезом, составляет 60–65 мВт/м². Как мы видим, среднее для Забайкалья меньше фонового значения, и это свидетельствует об охлаждающем влиянии глубинного диапира на сопредельные территории. Таким образом, мой сумасшедший прогноз подтвердился (этот прогноз был опубликован в 1992 году в книге, изданной на английском языке в Канаде – «Hydridic Earth...»).

Мы не случайно отклонились от темы «образование океана», это было необходимо для объяснения специфики вулканизма в зонах спрединга. В осевых частях океанов под рифтовыми долинами также располагаются холодные диапиры интерметаллических силицидов. Однако в этих зонах они подходят совсем близко к поверхности планеты, на расстояние порядка 1,5–2-х километров от дна океана. Выше мы уже говорили о том, что на подходе они непременно контактируют с водой и в своей головной части покрываются «шляпой» силикатного расплава, т.к. реакции окисления сопровождаются выделением большого количества тепла. Вместе с тем сами силициды в существенном объеме не плавились, поскольку у них достаточно высокие температуры плавления (Mg_2Si – 1102 ^{0}C, Si – 1430 ^{0}C, FeSi – 1410 ^{0}C), высокая теплопроводность (примерно на порядок выше, чем у силикатов), и, кроме того, они ведь холодные. При такой теплопроводности отток тепла из зоны нагрева будет столь эффективен, что просто не-

возможно поднять температуру в существенном объеме до точки плавления. Это все равно, что пробовать расплавить железный лом, нагревая его кончик, торчащий из ледяной воды.

Отсюда следует, что силикатный расплав в зоне контакта диапиров с водой может существовать лишь весьма непродолжительное время, пока идут экзотермические реакции. Но как только трещинная зона, открывшая воде путь к силицидам, залечивается расплавом, реакции тут же прекращаются, и все быстро остывает, поскольку это все не поддерживается внутренним теплом планеты, а, наоборот, «замораживается» из-за эффективного охлаждающего воздействия глубинного диапира. Скорее всего, каждая дайка и связанное с нею излияние базальтов в осевой зоне являются следствием отдельного акта плавления. Итак, расширение планеты вызывает появление трещинных зон, через которые вода гидросферы проникает в интерметаллические силициды. Последние в зоне контакта с водой бурно окисляются, силикатная оторочка диапиров плавится, расплав извергается через те же трещинные зоны и залечивает их дайками, доступ воды в зону реакции прекращается, остатки расплава быстро охлаждаются и кристаллизуются в виде силикатной корки. Если расширение продолжается, то образовавшаяся корка и дайка (дайки) вновь рвутся трещинной зоной и весь цикл раз за разом повторяется, покуда идет процесс разрастания океана, т.е. этап расширения планеты, сопровождаемый нагнетанием «клиньев» интерметаллических силицидов в осевые части зоны спрединга. Именно так формируется «комплекс параллельных даек».

В свете сказанного можно понять, почему дайки имеют столь малую протяженность по вертикали (примерно 1,5 км) и обнаруживают исключительную распространенность по горизонтали. Кроме того, при нашем понимании этого явления, нет необходимости предполагать существование крупных, скрытых на глубине, магматических очагов, питающих дайки. Следует сказать более категорично: на этапе формирования «комплекса параллельных даек» таких очагов на глубине быть не должно. Все, что может быть расплавного, это силикатная «шляпа» на головной части интерметаллического диапира, на глубине 1,5–2-х километров от дна рифтовой долины. И обнаружить ее можно в тех местах, где в настоящее время происходят излияния лав; там, где излияний нет, расплавная «шляпа», скорее всего, уже превратилась в силикатную корку. И еще, расплавы, если они образуются по нашей модели, должны быть «сухими», т.е. в них не должно быть воды, что

можно установить при исследовании свежих закаленных стекол. Более того, в этих силикатных стеклах могут быть включения самородных металлов.

Мне довелось видеть в нескольких местах на континентах современный вулканизм, связанный с рифтогенезом. Это очень интересная тема, и о ней стоило бы поговорить более подробно, но не в этой книге. Здесь только отмечу, что поражает полнейшее отсутствие поствулканической деятельности. К примеру, на западе США в штате Айдахо современными базальтами залита громадная территория. Извержения происходят из множества центров, и крупные вулканические постройки отсутствуют. На местности относительный возраст лав легко определяется по характеру растительности. Более ранние потоки уже имеют кое-где кармашки с почвой и соответственно траву и кустики. Однако сплошного растительного покрова нет. Более поздние потоки абсолютно лишены и почвы, и растительного покрова, а на самых молодых нет даже пыли. Ходишь по ним с опаской, все мерещится, что они еще не остыли, но нигде ничего не булькает и не парит, ничем не пахнет, нет ни одной фумаролы, ни одного грязевого котла. Ощущение такое, как будто все внезапно было заморожено. И учтите, что этот вулканизм ныне действующий, он не закончился, и новые извержения могут произойти в любой момент. Этому месту американцы дали название «лунные кратеры», видимо, по причине отсутствия растительности, преимущественно черного цвета излившихся пород и какой-то угнетающей безжизненности ландшафта.

В районах современного вулканизма, где вулканическая деятельность поддерживается внутренним теплом планеты (Курилы – Камчатка и др. островные дуги или зоны альпийского тектогенеза), такого не увидишь. Да что за примером далеко ходить, в 300 км к северо-востоку от «лунных кратеров», в Йелоустонском парке, где также современный вулканизм, но поддержанный глубинным теплом планеты, все совершенно иначе. Тут тебе и гейзеры, и фумаролы, и горячие источники, и сероводородом воняет так, что хоть противогаз надевай, породы раскрашены гидротермами во все цвета радуги, и на этом фоне буйство жизни, как растительной, так и животной. Бывало так, поставишь машину на асфальтированную площадку, отойдешь выпить кофе и покурить, возвращаешься, а под бампером твоей машины появилась трещинка в асфальте, и из нее уже пробивается фумаролка. Даже

беглого взгляда достаточно, чтобы увидеть нарастание эндогенной активности в данном регионе. Интересно, чем все это завершится? И не дай бог здесь случится извержение игнимбритов, которые способны заливать одноактно площади в десятки тысяч квадратных километров.

Мне как геологу бывать в таких местах чрезвычайно интересно. Но хотел бы я жить постоянно на этих территориях? Одному – с превеликим удовольствием, с семьей – ни за что на свете. А они – американцы живут, правда, не плотно. Видимо долгое существование в комфорте и достатке притупляет чувство самосохранения и усыпляет бдительность. Представьте себе, в Айдахо (где «лунные кратеры») одновременно с последними излияниями базальтов обширные площади более древних извержений были превращены в «крошево» множественными мелкими взрывами. В результате верхний слой, на глубину нескольких метров, представляет собой хаотическое нагромождение остроугольных обломков (преобладающие размеры от 0,4 м и более) и глыб (размерами с автомобиль), которые, по всей видимости, неоднократно перебрасывались с места на место. Среди этого хаоса можно разглядеть взрывные воронки диаметром до 10–15 м, которые сохранили свою форму, потому что оказались последними.

Ходить по этому «крошеву» абсолютно невозможно, можно перебираться на четвереньках, и то с особыми мерами предосторожности. Многие глыбы еле держатся, чуть тронешь – она поехала, и хорошо, если ты сверху. Базальты, по большей части, ошлакованные, их ноздреватые сколы хорошо сцепляются, в результате сохраняются очень крутые откосы и даже вертикальные стенки. Сначала я не понял, откуда такое взялось, и полез внутрь этого хаоса, не жалея рук и ног. Сгоряча залез далеко, наконец, сообразил «что к чему» и затем долго и нудно выбирался назад, проклиная свой дурацкий энтузиазм и переживая за кроссовки, которые, прямо на глазах теряли свой фирменный вид. Более «мертвого» места невозможно себе представить, там не было даже насекомых, и это в июне месяце.

В данном регионе протрузии интерметаллических силицидов внедряются в кору. Они содержат примесь водорода. Кроме того, в результате реакций с водой, проникающей в силициды сверху по трещинным зонам, также выделяется большое количество водорода. Это приводит к образованию и отделению из зоны реакции резко восстановленных флюидов, состоящих преимущественно из водорода и силанов. Силаны (кремний-водородные соедине-

ния) сильно ядовиты и, смешиваясь с кислородом атмосферы, взрываются. Вряд ли кто пожелает оказаться в том месте, где все это может случиться снова. И нет никаких сомнений, что это произойдет в ближайшем будущем, поскольку уже несколько лет, как вода из реки Snake River, протекающей по этой территории, по большей части уходит под землю. Ниже мы еще будем обсуждать некоторые другие явления, связанные с отделением силанов.

8.4. «Спрединг» против «Тектоники плит»

Дорогой читатель, надеюсь, вы уже поняли, что моя концепция является полной альтернативой бытующим ныне геолого-тектоническим представлениям, основанным на «Тектонике плит». Исходной посылкой для этих представлений явились полосовые магнитные аномалии, выявление которых в срединных частях океанов породило идею спрединга*.

** Как только выяснились масштабы спрединга в осевых частях океанов, то первое, что приходило в голову, это расширение Земли. Но поскольку планета с железным ядром и силикатной мантией этого не допускает, стали думать, как все это может быть при постоянном объеме планеты, и придумали «Тектонику плит» с ее субдукцией. Нет чтобы задаться вопросом: а чем доказано, что ядро нашей планеты железное, а все остальное – силикаты?*

Таким образом, спрединг считается «краеугольным камнем» «Тектоники плит». Вместе с тем тот же самый спрединг должен быть при наших масштабах расширения Земли. Однако у нашего спрединга, если он от расширения планеты, должны быть свои специфические черты, которых не должно быть в рамках «Тектоники плит». Обсудим этот вопрос.

Если правомерна «Тектоника плит», то трансформные разломы должны быть чистыми сдвигами с плотно притертой плоскостью смещения, и такая притертость должна усугубляться по мере удаления от оси хребта, поскольку протяженность зоны генерации новой коры (осевые части срединных хребтов и зоны рифтогенеза) намного превышает суммарную длину зон Беньофа.

В случае увеличения объема Земли, наряду с расширением хребта в обе стороны от его рифтовой долины (поперечная составляющая), хребет должен одновременно вытягиваться вдоль своей протяженности, т.е. должна быть и продольная составляющая, равная поперечной. В противном случае при увеличении объема

планеты срединные хребты океанов не могли бы сохранять свою непрерывность.

Продольное хребту расширение лож океанов осуществляется по множеству трансформных разломов, число которых, например, в Атлантическом океане исчисляется многими десятками. Соответственно раздвиговая составляющая должна быть в десятки раз меньше сдвиговой (на трансформном участке), поэтому она не выявляется при исследованиях сейсмических очагов. Однако за пределами трансформного участка, там, где сдвиговая компонента отсутствует, разлом должен быть чистым раздвигом. При этом чем дальше тот или иной участок отстоит от оси хребта, тем больше в нем должно быть накоплено «зияния». Поясним эту ситуацию простым расчетом. Примем среднюю скорость спрединга для Атлантики равной 2 см/год, а число трансформных разломов равным 100. Отсюда скорость продольной раздвиговой составляющей каждого разлома будет равна 0,02 см/год. При такой скорости раздвига за 10 млн. лет зияние составит 2 км, а за 50 млн. лет – 10 км. Участок разлома с возрастом в 10 млн. лет отъедет от оси хребта на 100 км, а за 50 млн. лет – на 500 км. Таким образом, при расширении Земли поперечные разломы за пределами трансформного участка должны быть раздвигами, и «зияние» в них должно постепенно увеличиваться с удалением от осевой зоны спрединга. Морфологическим выражением раздвига на поверхности всегда является грабен, и, следовательно, трансформные разломы на расширяющейся Земле должны быть впадинами, ширина которых постепенно увеличивается по мере удаления от оси хребта ***(рис. 19а)***.

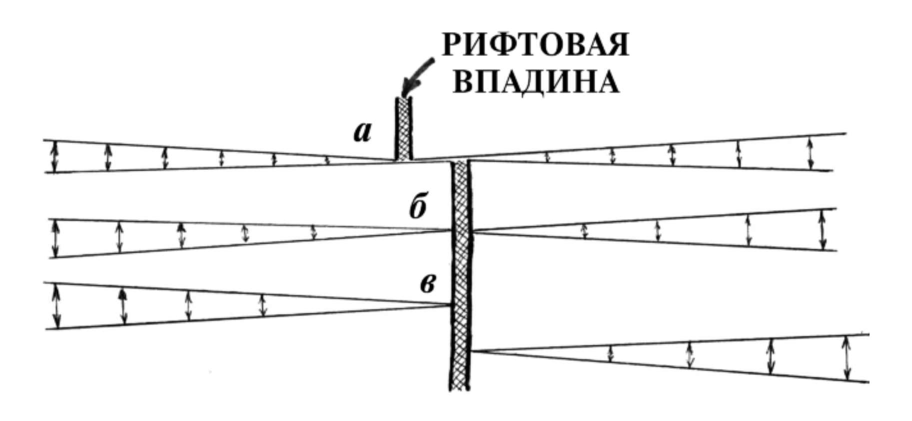
Более того, по этим поперечным разломам, если их причина – расширение Земли, совсем не обязательно должна смещаться ось хребта ***(рис. 19б)***. И наконец, поперечный разлом (если это раздвиг и его причина – продольное расширение хребта) может быть односторонним, т.е. у него может отсутствовать продолжение с другой стороны рифтовой долины ***(рис. 19в)***. В рамках тектоники плит всего этого ***(рис. 19а, б, в)*** быть не должно. Итак, специфические черты поперечных разломов срединных хребтов океанов по «Тектонике плит» и с позиций расширяющейся Земли должны быть диаметрально противоположными, что может служить критерием истинности при решении альтернативы: или расширение планеты, или «Тектоника плит».

В начале 90-х годов XX века я докладывал некоторые свои идеи, и этот аспект в их числе, на заседании ученых мужей в одном

академическом институте, в котором я тогда работал и который являлся головным по проблемам геологии и тектоники. Среди слушателей присутствовал весьма авторитетный исследователь геоморфологии океанов со своими сотрудниками. У них мой доклад вызвал неподдельный интерес. Через несколько дней этот неутомимый исследователь и его группа отправились в очередной рейс в Атлантику, и уже через три месяца в том же конференц-зале и при той же аудитории они показывали прекрасные карты различных участков срединно-океанического хребта, на которых было все то, что я предсказал ***(рис. 19а, б, в)***. Аудиторию особенно заинтересовали односторонние разломы ***(рис. 19в)***. Она потребовала объяснить как такое вообще может быть, и если это действительно существует в природе, то в чем причина столь необычного явления. Докладчик с некоторым недоумением оглядел аудиторию, затем указал на меня и ответил, что, мол, нужно спрашивать у того, кто все это предсказал три месяца назад на этом самом месте и уже объяснил, почему такое должно быть. Повисла гнетущая недоброжелательная тишина. Один маститый академик, считавший себя ответственным за тектонику океанов, покраснел от негодования, встал и демонстративно вышел, одарив меня отнюдь не ласковым взглядом, и потом в течение полугода старательно делал вид, что меня не существует на свете. Поразительно, но никто тогда не поздравил меня со столь явным успехом.

Рис. 19.

Возможные типы поперечных разломов на срединных хребтах при их образовании за счет расширения Земли.



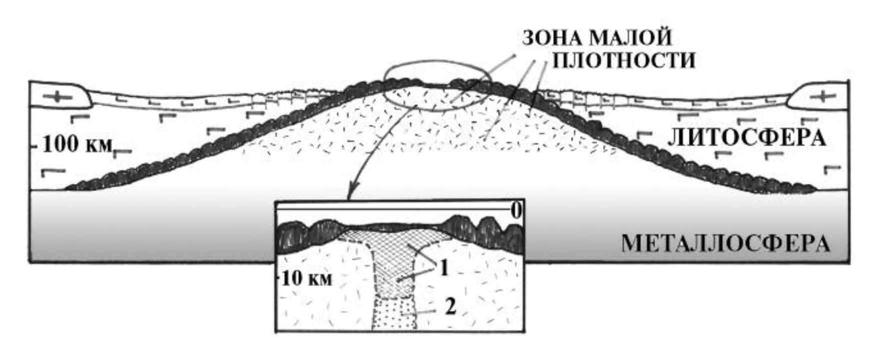
Я не следил за литературой и не знаю, нашли или нет объяснение этому сторонники «Тектоники плит», наверное, нашли, если только не проигнорировали сам факт. Но одно дело – правильно предсказать неизвестное ранее явление, это значит, что теория работает. И совсем другое – объяснять задним числом факты, обнаруженные вопреки твоей теории, внося при этом некоторые усложнения в свои теоретические представления, это означает, что теория не работает.

8.5. Геофизические особенности океанов

Рассмотрим ***рисунки 16г и 18.*** В рамках того, что изображено на них, верхняя часть выступа металлосферы под срединными хребтами должна обладать существенно меньшей плотностью в сравнении с перекрывающей ее силикатной литосферой ***(рис. 20).*** Этим объясняется само существование срединных хребтов, которые приподняты над глубоководными зонами на 2,5 – 3 километра. Геофизическим выражением этого выступа металлосферы является глубокая отрицательная аномалия, в поле силы тяжести (в редукции Буге).

Рис. 20.

Линза малой плотности под срединным хребтом и высокоскоростные блоки в верхней части этой линзы (под рифтовой долиной). На врезке: 1 – зона высоких скоростей, возможно, до 9 км/с; 2 – зона низких скоростей, порядка 6 км/с. Скорости продольной волны во вмещающих силицидах (крап «лапшой») на глубине 10 км – порядка 7 км/с.



Скорости прохождения сейсмических волн в силицидах меньше, чем в мантийных силикатных породах (***см. рис. 18***). Поэтому наша модель предполагает в сейсмическом разрезе существование низкоскоростного канала, своеобразие которого в том, что он

имеет исключительно резкую верхнюю границу (по подошве силикатно-окисной оболочки), тогда как нижняя отсутствует. Более того, с погружением от оси хребта этот волновод будет постепенно терять свою резкость и должен сойти на нет на глубинах порядка 110–120 км, что соответствует давлениям 35–37 кбар, при которых скорости в силицидах (нашего сплава) и мантийных силикатных породах уравниваются (снова ***рис. 18***).

В ряду петрогенных элементов (Si -Mg -Ca -Al -Na -K – Fe) железо имеет наименьшую энергию связи с кислородом. Поэтому при образовании силикатной корки в зоне перехода от силикатов к силицидам, где степень окисления постепенно спадает, именно железо должно оставаться в виде самородного металла. Температура, при которой железо теряет способность к намагничиванию (точка Кюри), равна 770 ^{0}С. Это достаточно высокая температура, у природного магнетита она всего лишь 350 ^{0}С. По нашей модели, интерметаллические диапиры внедряются под дно рифтовых долин в холодном виде. В результате происходит быстрое остывание и новообразованной силикатной корки, и переходной зоны от силикатов к силицидам. Температура падает ниже 770 ^{0}С, и появляется магнитная аномалия, обусловленная намагничиванием железа, которое является гораздо более сильным ферромагнетиком в сравнении с магнетитом (отсюда интенсивность аномалии). В дальнейшем в процессе силикатизации силицидов (из-за выноса кислорода водородными струями) железо окисляется, превращается в магнетит, и интенсивность магнитной аномалии резко падает. В срединных частях океанических хребтов действительно иногда наблюдается осевая магнитная аномалия, интенсивность которой на порядок выше других, более древних полосовых аномалий.

Внимание! Озвучим некоторые следствия, которые можно подвергнуть экспериментальной проверке, используя современные методы геофизических наблюдений.

Поскольку поперечные волны не проходят через жидкую среду, то я надеюсь, геофизикам не составит труда установить существование на небольшой глубине расплавных «шляп», из которых питаются параллельные дайки, а также наш категорический запрет на существование более глубинных магматических очагов под рифтовыми долинами океанов.

В металлах и их сплавах отношение скоростей продольной волны к поперечной заметно больше, чем в силикатах. Следовательно, если замерить это отношение до глубины 150 км под рифтовы-

ми долинами океанов и сопоставить с тем, что мы имеем в литосфере на континентах, то обнаружится разница, так как под континентами мы имеем силикаты, а под рифтовыми долинами океанов – интерметаллические соединения и сплавы.

Высокие тепловые потоки в рифтовых долинах обусловлены экзотермическими реакциями окисления интерметаллических силицидов, и эти реакции идут непосредственно в зоне спрединга (раздвига), где вода по зияющим трещинам проникает вглубь. Но как только эта зона отодвигается за пределы рифтовой долины, где уже нет раздвига, тепловой поток должен аномально быстро спадать, поскольку он в срединной части океана не поддерживается внутренним теплом планеты.

В пределах выступа металлосферы, подпирающего срединный хребет, могут быть (вернее, должны быть) струи водорода. Мы все время говорили о пластичности металлов в связи с растворением в них водорода. Теперь пора вспомнить о водородной хрупкости металлов, которая сохраняется в интервале от нуля до 5,5 – 6 кбар при повышении давления. При уменьшении давления (т.е. при внедрении из глубины) пластичность исчезает при 3–3,5 кбар. Такие давления достигаются на глубинах порядка 10–12 км от дна рифтовых долин. И если интерметаллические сплавы в осевых зонах начинаются с глубины полутора – двух километров, то до глубины в 12 км они должны быть «охрупчены» в зоне действия водородной струи. «Охрупчивание» металлов сопровождается резким повышением модуля упругости и соответственным увеличением скорости прохождения сейсмических волн, вплоть до значений порядка 9 км/с.

Таким образом, в пределах низкоскоростного выступа металлосферы, в самой верхней его части, не глубже 10–12 км от дна рифтовой долины, могут быть обнаружены отдельные высокоскоростные блоки, чаще всего вытянутые вдоль хребта, длина которых варьирует в пределах 100–170 км, при ширине порядка 10,15-20 км. Эти блоки имеют ту же плотность и поэтому не вносят никаких возмущений в отрицательную (в редукции Буге) гравитационную аномалию.

8.6. Рудное вещество океанов

Первые находки рудных конкреций из глубоководных океанических впадин были сделаны в конце XIX века. Однако лишь к 60-м годам XX столетия стало известно, что океаны богаты многими металлами. Глубоководные илы резко обогащены многими рудными элементами, а в пелагических впадинах (ниже уровня карбонатной ком-

пенсации), где осадки не разбавляются карбонатным материалом, дно океанов выстилают железомарганцевые конкреции, в которых концентрации многих ценных металлов еще выше ***(табл. № 3)***.

Таблица № 3.

Содержание элементов в осадках Тихого океана, % вес.
(по данным Скорняковой Н.С.).

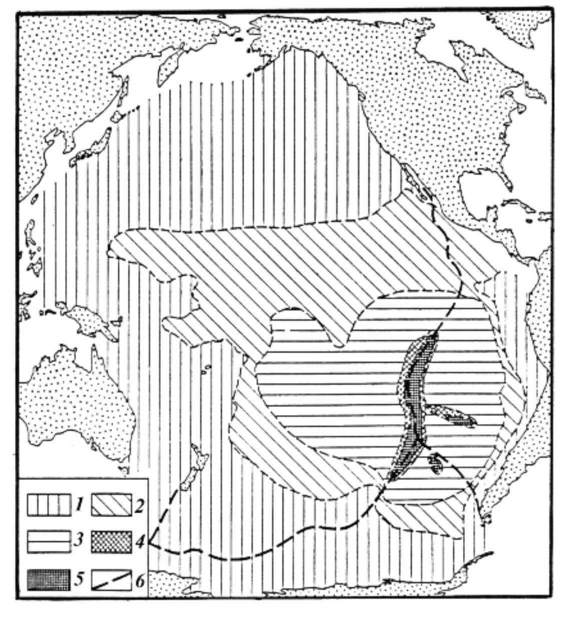
Элементы	Глинистые сланцы и мелководные глины	Глубоко-водные илы	Конкреции
Марганец	0,085	0,67	21,1
Железо	4,83	6,5	12,0
Кобальт	0,0013	0,011	0,31
Никель	0,0053	0,030	0,67
Медь	0,0048	0,040	0,43
Цинк	0,0095	0,020	0,71
Молибден	0,0001	0,0046	0,04
Свинец	0,002	0,011	0,10

Во многих абиссальных впадинах конкреции образуют богатые рудные скопления, в которых запасы металлов (в расчете только на 1 метр мощности донных осадков) в десятки, сотни и тысячи раз превышают континентальные мировые ресурсы меди, никеля, кобальта, марганца. Обогащенные конкрециями прослои неоднократно обнаруживались в толще осадков при бурении дна океанов, что увеличивает (вероятно, еще на порядок) запасы металлов в них.

В 60-х гг. XX века на дне Красного моря выявлены впадины, заполненные горячими рудными илами. В наиболее крупной из них («Атлантис-2») придонный слой мощностью 200 м имеет температуру выше 56 ^{0}C, а концентрация солей достигает 27% (соленость Красного моря – 4%). Эти горячие илы очень ярко раскрашены и содержат более 50% H_2O и NaCl. После отмывки солей и высушивания они превращаются в рудный концентрат, содержащий до 45% железа, до 25% марганца, до 10% цинка, до 6% свинца, а также около 3% меди, 300 г/т серебра, 5 г/т золота. В дальнейшем во многих местах срединно-океанических хребтов были обнаружены толщи Fe-Mn-карбонатных осадков с богатой примесью свинца, цинка, меди и других элементов. Наконец, следует сказать о богатых сульфидных полиметаллических рудах, генерируемых в настоящее время «черными курильщиками». И можно не сомневаться, что мы узнаем еще много нового о металлогении океанов.

Рис. 21.

Распределение марганца в поверхностном слое осадков Тихого океана (по данным Н.С. Скорняковой). Площади содержаниями (в % на бескарбонатное вещество): **1** *— 0,2 — 0,5 и меньше;* **2** *— 0,5 — 1;* **3** *—1 — 3;* **4** *— 3 — 5;* **5***— более 5%.* **6** *— рифтовая зона.*



Первоначально считали, что рудное вещество в донных осадках океанов целиком обусловлено сносом растворов и взвесей с континентов. Однако по мере выявления грандиозности этих рудных скоплений, которые к тому же явно тяготеют к зонам, наиболее удаленным от материков, их происхождение стали связывать с вулканическими эксгаляциями. Но геохимические исследования показали отсутствие генетической связи рудного вещества с вулканитами. Более того, карты ареалов рассеяния в донных осадках железа, марганца и многих малых элементов показывают, что источник этих металлов, к примеру, в Тихом океане находится не в центральной и северо-западной его частях, где наблюдается наиболее активный вулканизм, а в его юго-восточной зоне, для которой нехарактерна столь активная вулканическая деятельность. Судя по максимальным концентрациям, именно в срединной части Восточно-Тихоокеанского поднятия расположена «металлоносная» зона, протягивающаяся вдоль оси подводного хребта ***(рис. 21)***, которая поставляет гигантские

количества металлов. В тоже время базальты из этой зоны не обнаруживают ни признаков глубокой гидротермальной проработки, ни повышенных концентраций металлов. Следовательно, источник рудного вещества не связан непосредственно с процессами магмагенерации, а имеет иную природу. И нужно четко осознавать, что в данном случае не может быть привлечен ни один из известных в настоящее время рудообразующих процессов. Чтобы объяснить появление этих неисчерпаемых запасов, требуется совершенно иной источник металлов, на многие порядки превышающий по масштабам все известные источники руд на континентах.

В рамках предлагаемой концепции этим источником является процесс перерождения интерметаллических силицидов в силикаты, идущий в недрах срединно-океанических хребтов. Интерметаллические соединения сохраняют значительную долю металлического типа связи, отсюда их способность к образованию разнообразных сплавов, а также твердых растворов внедрения или замещения. Поэтому силициды магния, железа и другие интерметаллы могут удерживать в решетках большие количества разнообразных металлов и неметаллов (фосфора, углерода, серы и др.). Силикаты, наоборот, не образуют сплавы с металлами, а их способность образовывать твердые растворы сильно ограничена. Жесткость кремний-кислородных решеток силикатов (обусловленная жесткостью связи Si-O) препятствует образованию структур внедрения, а катионно-анионный характер кристаллического каркаса ограничивает возможность появления структур типа замещения для многих элементов из-за строения их внешней электронной оболочки. Поэтому изоморфная емкость кристаллических решеток силикатов весьма мала.

Из сказанного следует, что перерождение силицидов в силикаты должно сопровождаться выносом многих элементов из тех объемов, в которых это перерождение происходит, поскольку при этом многие элементы оказываются «лишними» при образовании кремний-кислородных решеток силикатов. Одни оказываются лишними, потому что не входят в число петрогенных, другие потому, что оказались в избытке, сверх количества, необходимого для стехиометрии силикатов, третьи (малые, редкие и рассеянные) из-за весьма малой изоморфной емкости кристаллических решеток образующихся силикатов (а это в основном оливин и пироксены). Подъем интерметаллических силицидов в океанах

близко к поверхности планеты – явление глобальное, обусловленное расширением Земли. Соответственно, глобальным является процесс перестройки силицидов в силикаты в самом верхнем слое металлосферы под океанами. Поэтому нас не должна удивлять грандиозность запасов металлов, по сути, являющихся «строительным мусором», вынесенным на поверхность в процессе ремонта и достраивания силикатной оболочки, которая была сильно растянута и практически разорвана при образовании океанов (напоминаю, интерметаллические соединения и сплавы в океанах находятся на глубине 1,5–2 км от дна рифтовых долин).

Выше мы уже говорили про западные регионы США, под которые «ныряет» Восточно-Тихоокеанский хребет, вызывая рифтогенное раздробление на обширных территориях. Упоминали также про изолированные хребты «Большого бассейна», вздымание которых обусловлено трансформацией силицидов в силикаты в пределах водородных струй, выносящих кислород из глубинных зон интерметаллических диапиров. Следовательно, на этих территориях, в рамках наших представлений, должно быть кайнозойское полиметаллическое оруденение (Pb-Zn-Cu) с серебром и золотом, как тот самый «строительный мусор» при производстве силикатов по силицидам. И действительно, запад Соединенных Штатов является богатейшей провинцией с кайнозойскими месторождениями именно этого типа (Pb-Zn-Cu-Ag-Au). Более того, в этих гидротермально-метасоматических месторождениях повсеместно присутствуют железо и марганец. Среди жильных минералов преобладают сидерит ($FeCO_3$) и мангансидерит ($[Fe, Mn]CO_3$), а также родохрозит ($MnCO_3$) и родонит ($MnSiO_3$). Жильные минералы марганца часто представляют промышленный интерес как дополнительный рудный компонент, а в некоторых местах были обнаружены огромные метасоматические тела чистого родохрозита, которые являются важным источником марганца. Среди этих тел родохрозита, как правило, выявляются объемы, в которых марганец из карбонатов вытесняется железом.

Большинство исследователей, судя по литературе, хотели бы приписать этим месторождениям магматогенный генезис. Однако при описании рудных районов они вынуждены были признать отсутствие генетической связи оруденения с известными интрузивами и «опустить» источник металлов в глубокие горизонты коры, полагая, что там могут быть скрыты материнские интрузии. Наша модель не нуждается в гипотетических магма-

тических очагах. В нашем понимании, интертеллурический флюид, первопричина которого – водородные струи, производит перестройку силицидов в силикаты, захватывает «строительный мусор» и отлагает его в виде месторождений в верхних горизонтах коры. Разумеется, сам флюид при этом эволюционирует от чисто водородного на больших глубинах в силицидах, до существенно водного с добавками CO_2, H_2S и других летучих компонентов, в коре, на выходе. «Водород» и на русском, и на иностранном – «hydrogen» означает «рождающий воду», что он с успехом делает, особенно если принять во внимание вытеснение кислорода водородными струями из диапиров интерметаллических силицидов. Это к тому, что гидротермально-метасоматический тип оруденения предполагает участие существенно водного флюида.

9. ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ СКЛАДЧАТЫХ ПОЯСОВ

Дорогой читатель, прошу простить меня великодушно за лирическое отступление от изложения столь интересной проблемы, но я уже несколько дней никак не могу начать этот раздел. И не потому, что нужно что-то додумать, просто мне не хватает слов. Весь извелся черной завистью к тем, кто думает речью, словами. Как легко им излагать свои мысли в виде текста. Но как быть тому, кто мыслит образами и процессами, о которых никто никогда не задумывался. Вы можете «подумать грозу» не словами, а мысленными образами этого явления. Это просто, все мы видели ее много раз, и образы запечатлелись в нашей памяти. Затем вам достаточно написать нескольких ключевых слов – туча, ветер, гром и молния, завесы дождя, потоки воды, умытая листва, радуга, тишина, пение птиц – и каждый сможет представить это явление в динамике и во всей его величественной красоте. Но вместе с тем у каждого это будет «своя гроза». Но я-то должен описать явление, которого никто никогда не видел и не продумывал и для описания которого просто нет слов, они еще не придуманы. И как передать читателю в точности тот образ, который стоит перед моим мысленным взором. Я понимаю, что это невозможно, но все равно буду стараться.

Причина тектономагматической активности, приводящая к формированию складчатых поясов, одна – дегазация водорода. Давайте сначала рассмотрим механизм образования складчатых поясов в мезокайнозойское время. С течением геологического времени их характер менялся, и причины этого будут обсуждаться в других разделах.

9.1. Складчатый пояс Альпийского типа

На ***рис. 15*** показан характер дегазации водорода в процессе развития планеты. Согласно этой схеме, в мезокайнозойское время выход водорода осуществлялся в виде крупных русел, устья кото-

рых разнесены на многие тысячи километров. Здесь надо учесть, что на рисунке изображение двухмерное, однако в трехмерном объеме Земли эти русла совсем не «трубы», а скорее протяженные «щели», но «щели» только по форме, разумеется, там нет никакого зияния. По всей видимости, эта «щелевидная форма» обусловлена заложением тектонически ослабленных зон при расширении Земли.

Выше мы уже говорили, что расширение планеты и дегазация водорода от ядра имеют циклический характер. При этом каждый цикл начинается с процесса расширения, который препровождается более длительной дегазацией, и все завершается периодом покоя, когда происходит накопление радиогенного тепла в недрах планеты, необходимого для запуска следующего цикла. Выше также упоминалось, что водород считается прекрасным теплоносителем, и поэтому потоки водорода являются тепловыми потоками, сконцентрированными в узких зонах. Наконец, проведенные нами эксперименты показали, что при насыщении металлов водородом их кристаллическая решетка уплотняется (в условиях всестороннего сжатия).

Теперь рассмотрим, что происходит, когда поток водорода подходит под подошву литосферы ***(рис. 15в)***. Введем понятие «тектоноген», в нашем понимании, это некий объем под литосферой в верхней части металлосферы, в котором собирается концентрированный поток водорода ***(рис. 22)***.

Рис. 22.

Тектоноген в рамках нашей модели Земли.

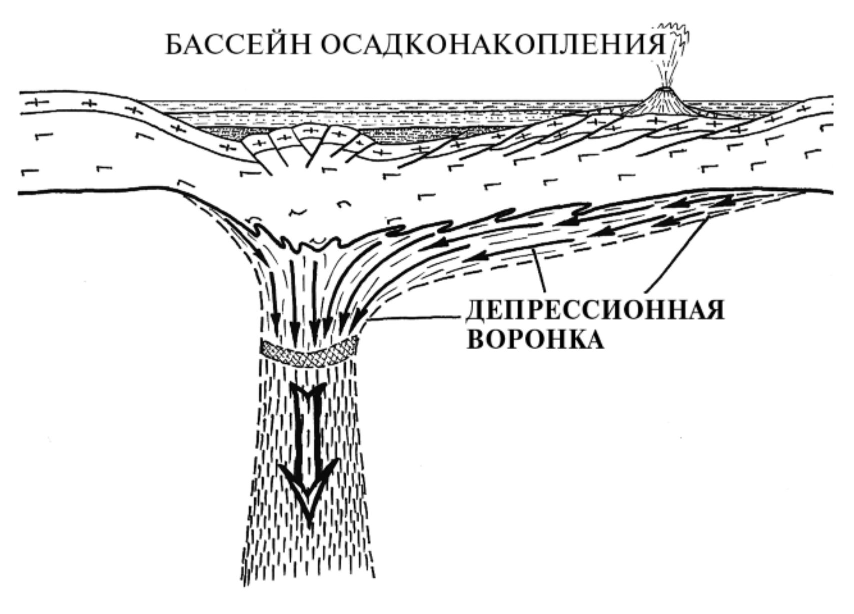


С появлением этого потока металлы должны уплотняться в объеме тектоногена. Верхняя граница тектоногена при этом опускается вниз, и все, что располагается выше, засасывается в образовавшуюся депрессию, которую я называю «зоной заглатывания». Этот термин отнюдь не мое лихое словотворчество, а восстановление исторической справедливости. В самом начале XX века (т.е. век назад) геолог О.Ампферер мечтал о такой «зоне заглатывания», располагающейся «где-то внизу», справедливо полагая, что если бы она была, то это решило бы многие проблемы происхождения Альпийского складчатого пояса, но, как водится, встретил вместо понимания одни лишь насмешки.

Реакцией астеносферы на это «заглатывание» должно быть формирование депрессионной воронки. Естественным следствием этих явлений на поверхности будет заложение обширного морского бассейна и накопление осадков в нем ***(рис. 23а)***.

Рис. 23а.

Стадия погружения и осадконакопления.

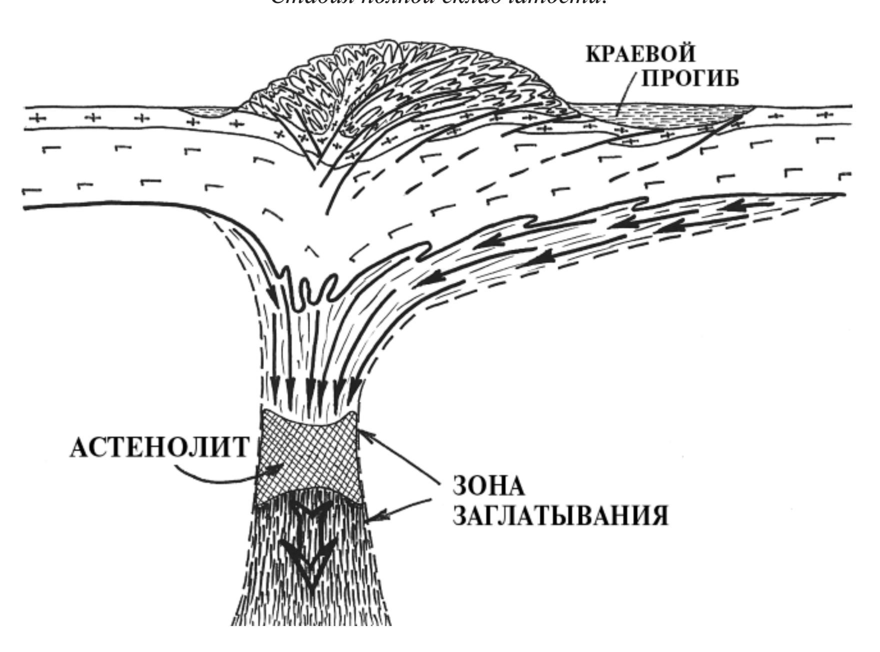


По мере углубления зоны заглатывания в депрессионной воронке устанавливаются течения, стремящиеся заполнить погружение. Это заплывание депрессионной воронки вызывает «скучивание» или, если хотите, «сгруживание» всего того, что лежит сверху ***(рис. 23б)***. В

данной связи во внутренних частях осадочного бассейна, где господствует режим сжатия, осадки сминаются в складки, формируются шарьяжи, откладываются олистостромы и т.п. При этом неминуемо происходит увеличение мощности сминаемых толщ. С какого-то момента верхняя граница смятых осадков поднимается выше уровня моря, и седиментация прекращается. Подъем сминаемых осадков над уровнем моря происходит не сразу и не повсеместно, а постепенно и отдельными параллельными грядами – кордильерами, между которыми сохраняются бассейны и продолжается накопление осадков (кстати, флиша на данной стадии развития). Кордильеры вырастают над зонами наиболее крупных надвигов (а точнее, «поддвигов»), по которым происходит сдваивание разреза. Со временем площадь кордильер увеличивается, бассейны сокращаются, и, наконец, вся внутренняя часть вздымается в виде молодого складчатого пояса.

Рис. 23-б.

Стадия полной складчатости.



Совершенно иная тектоника в краевых частях, из-под которых происходит отток астеносферы ***(рис. 23б)***. Здесь из-за этого оттока господствует режим растяжения и длительного устойчивого погружения. Ко времени вздымания складчатого пояса краевые зо-

ны оформляются в краевые прогибы, в которых продолжается погружение и осадконакопление. Высокий горный рельеф растущего складчатого пояса подвергается эрозии и переотлагается в виде нижней, преимущественно морской молассы («моласса» – в переводе с французского «рыхлая»).

Пластические деформации и вязкое течение вызывают резкий разогрев астеносферы и диссипацию тепловой энергии в вышележащие горизонты. С этим связаны региональный метаморфизм, гранитизация и широкое развитие магматизма, которые, естественно, должны проявляться после цикла осадконакопления, но близко во времени к фазе наиболее энергичной складчатости, поскольку она фиксирует наиболее энергичные течения в астеносферной воронке и означает максимум поступления тепла в земную кору.

Следует отметить обязательную (в свете наших построений) неравномерность тектонического скучивания во времени. Заплывание депрессионной воронки регламентируется вязкостью астеносферы, а вязкость определяется концентрацией водорода в металлах, и она (концентрация) не может быть одинаковой повсеместно. Где-то под литосферой водорода больше, где-то меньше, а местами его практически нет. Поэтому в настоящий момент, как утверждают геофизики, астеносфера где-то мощная, где-то утонена, а в некоторых местах вообще отсутствует. По всей видимости, такая ситуация с астеносферой сложилась именно в мезокайнозое в связи с канализацией потоков водорода при его выходе из недр планеты ***(см. рис. 15-в)***.

Пластичные течения в астеносфере сопровождаются ее разогревом и, соответственно, уменьшением вязкости уже в связи с повышением температуры. В результате во времени происходит акселерация движений в астеносферной воронке и ускорение процессов тектонического скучивания, апофеозом которого является «складчатость общего смятия», происходящая в достаточно узком временном интервале. И этот интервал может смещаться во времени от зоны к зоне в зависимости от «исходного качества» астеносферы, подстилающей эти зоны (в нашем понимании, прежде всего в зависимости от начального содержания в ней водорода). Там, где качество астеносферы изначально было ниже среднего, складчатость общего смятия может запаздывать, и, наоборот, в зонах с хорошей астеносферой тектоническое скучивание может произойти раньше.

Отметим интересный момент в развитии складчатого пояса, который наступает с того времени, когда тектоноген уже уплотнился до предела и астеносфера привела все в состояние изостатического равновесия, т.е. зона заглатывания полностью заполнена, течения прекратились (но дегазация водорода от ядра продолжается, и тектоноген поддерживается в уплотненном состоянии). Поскольку эрозия очень быстро срезает высокий рельеф, то на этой стадии развития складчатого пояса он может очень быстро из высокогорной системы превратиться в слабовсхолмленный пенеплен, по которому лениво миандрируют реки.

С окончанием дегазации водорода от ядра протонный газ достаточно быстро (в масштабах геологического времени) утекает из тектоногена*.

** Мне приходилось проводить эксперименты при температурах порядка 1000 ^{0}С и давлении водорода примерно в 500 атм. И уверяю вас, это давление в реакторе можно было держать, только в том случае, если постоянно подкачивать туда водород, Но как только подкачка прекращалась, давление водорода в реакторе падало так быстро, как будто бы в установке открывалась «течь». Водород легко утекал через «горячую зону», сквозь стенку молибдена толщиной в 3 см, как будто бы это не плотный металл, а старый валенок. (Для справки температура плавления молибдена 2622 ^{0}С.)*

В результате тектоноген возвращается к своему первоначальному объему, т.е. расширяется. Депрессионная воронка преобразуется в астеносферное вздутие ***(рис. 23в)***, которое мы считаем причиной появления орогенного свода. При этом в поднятие вовлекаются не только складчатые пояса, но и обрамляющие их краевые прогибы. Время появления орогенного свода фиксируется по началу отложения верхней, уже континентальной молассы. Прекращение дегазации водорода от ядра – явление глобальное, и в данной связи нас не должен удивлять практически одновременный орогенез во всех складчатых поясах одного и того же тектономагматического цикла независимо от того, как далеко они расположены друг от друга. Таким образом, по нашей модели, в складчатых поясах должно быть два цикла горообразования: первый – в связи со складчатостью, второй – в результате разуплотнения тектоногена.

Выше мы уже упоминали, что поток водорода выносит из глубин кислород, и в данной связи интерметаллические силициды над тектоногеном превращаются в окислы, т.е. в зоне заглатыва-

ния вызревает *«астенолит»* – блок вновь образованных силикатов ***(рис. 23б)***. Вместе с тем это область выхода мощного теплового потока, сконцентрированного в узкой зоне. По этой причине верхняя часть тектоногена и астенолит интенсивно прогреваются и насыщаются летучими компонентами. И как только в депрессионной воронке прекращаются нисходящие течения, большие объемы силикатного вещества всплывают и растаскиваются в стороны по мере растекания астеносферного вздутия. Фрагменты астенолита уравновешиваются (по плотности) в нижних горизонтах коры ***(рис. 23д)***, являясь источниками тепла и эманаций для магматизма и метасоматизма на орогенном и посторогенном этапах. Весьма характерно, что магматизм из-за этого растекания и растаскивания может проявляться и далеко за пределами складчатого пояса. Таковы интрузии аляскитовых и щелочных гранитов (с месторождениями редких металлов), внедрение которых происходит в посторогенный этап (в альпийском поясе внедрение этих интрузий только ожидается в ближайшем геологическом будущем).

Рис. 23в.

Стадия орогенная.
Этап вздымания орогенного свода.

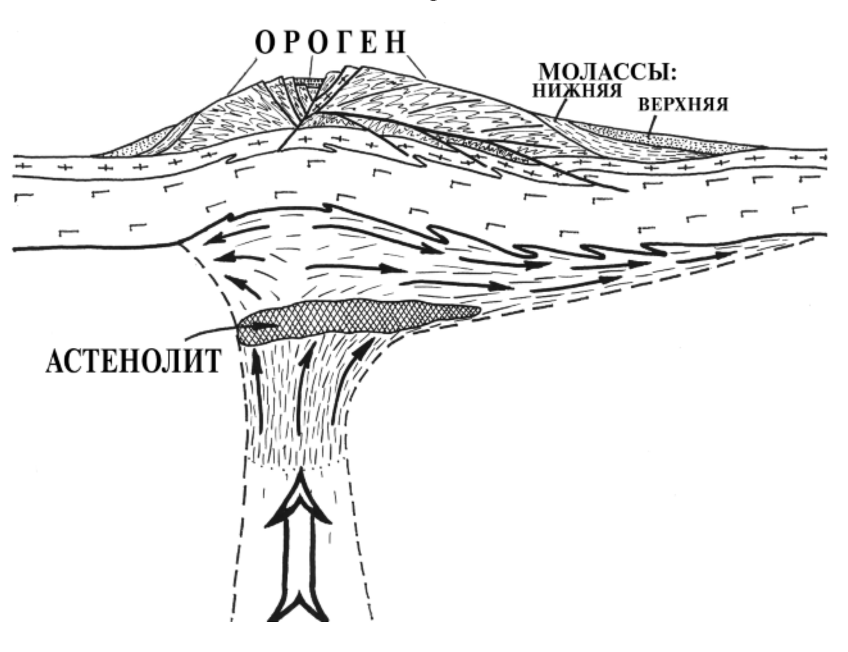


Рис. 23г.

Стадия орогенная. Этап заложения межгорных впадин, окруженных дугами горных хребтов.

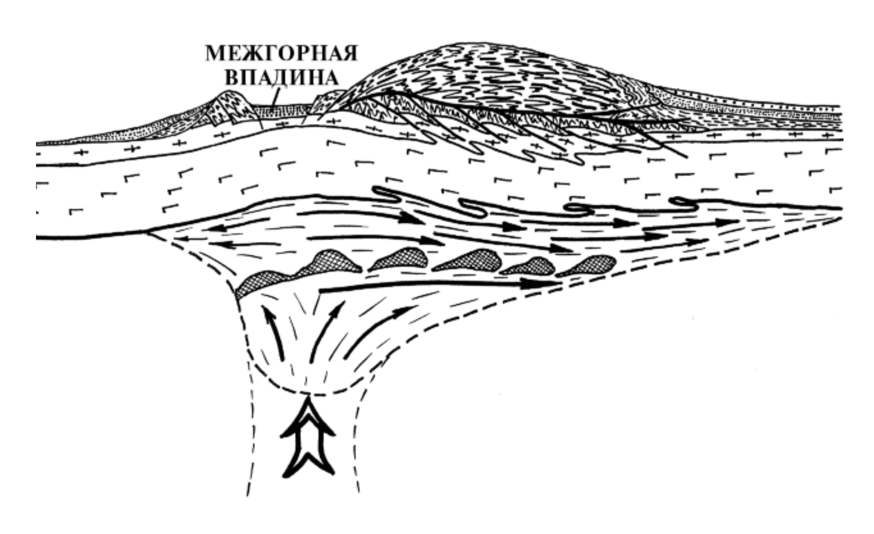
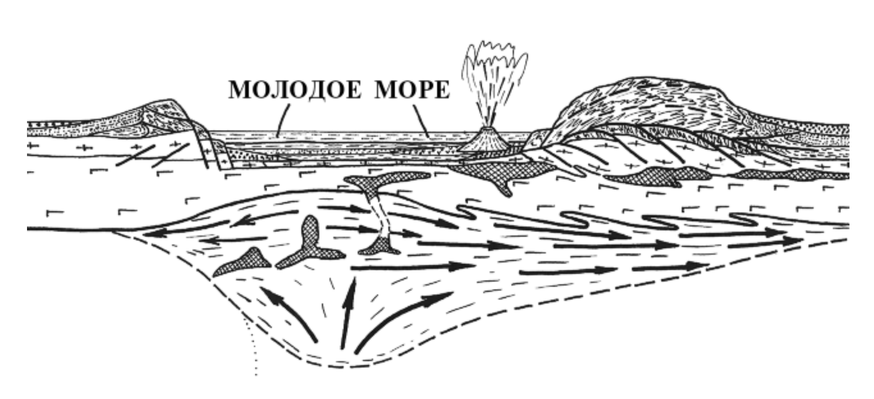


Рис. 23д.

Стадия посторогенная.
Этап заложения внутренних морей типа Тирренского и (или) Черного.



Растекание астеносферного вздутия вызывает растяжение орогенного свода. В результате сначала появляются протяженные межгорные прогибы типа Рионо-Куринского на Кавказе. Но затем структурный план становится более сложным, и причина этого в следующем. Первоначально поток водорода закладывался по всей длине будущего складчатого пояса, и этим была определена

первоначальная форма тектоногена. Однако водород, при его инфильтрации, постоянно стремится собраться в отдельные струи. Отсюда получается, что со временем концентрация водорода, уже в пределах тектоногена (в плане), начинает варьировать от зоны к зоне, и где-то она становится больше, а где-то меньше. Соответственно варьирует глубина зоны заглатывания, т.е. по мере работы протяженного тектоногена в нем должны появиться «овалы» с большей глубиной погружения. Этим определяется последующий рельеф астеносферного вздутия, которое должно быть осложнено куполами над местами наибольших глубин заглатывания (там, где были овалы более глубокого погружения). Именно с растеканием этих куполов связано появление на орогенном этапе овальных межгорных впадин типа Венгерской ***(рис. 23г)***, для которых характерны: утонение коры, повышенный тепловой поток, подъем астеносферы и вулканизм.

При растекании наиболее крупных (и наиболее прогретых) куполов образуются еще более крупные впадины типа Тирренского моря ***(рис. 23д)***. В свете наших построений, на этом месте совсем недавно существовал очень высокий рельеф, который быстро съела эрозия, уменьшив тем самым мощность коры. Остатки орогенного свода были растащены растекающимся астеносферным куполом и сохранились в виде итальянских Апеннин и гор на островах Сицилии, Сардинии и Корсики. По всей вероятности, изучая долины рек недавнего прошлого, можно будет установить, что текли они со стороны Тирренского моря и сносили оттуда гальку метаморфических пород глубоких горизонтов коры. Кроме того, растаскивание орогенного свода над астеносферными куполами сопровождалось резким утонением литосферы, и по этой причине не следует удивляться, что во внутренних частях этих новообразованных морей земная кора имеет очень малую мощность.

Если вязкость астеносферы, окружающей купол, имеет существенные вариации (а только так и должно быть), то растекание купола будет идти преимущественно в том направлении, где вязкость минимальна. В этой связи легко понять разнообразие форм неотектонических впадин в плане. Совершенно очевидно, что данный механизм предусматривает существование дугообразных цепей гор, окружающих межгорные впадины и моря, и эти дуги являются остатками некогда единого орогенного свода. При этом кривизна горных дуг может увеличиваться в направлении преобладающего растекания астеносферного купола, а в ряде случаев они вынуждены «наезжать» на краевые прогибы, сминая в склад-

ки заполняющие их отложения. Таким образом, межгорные впадины и моря средиземноморского типа являются закономерными явлениями орогенного и посторогенного этапов развития складчатых поясов*.

** В данной связи структура «Тибет — Гималаи» является орогеном, которому еще предстоит претерпеть глубокую эрозию и перестроиться в рельеф европейского вида с дуговыми горными цепями, обрамляющими новообразованные впадины и моря. Разумеется, эта перестройка будет сопровождаться катастрофическими сейсмическими событиями.*

Однако столь свойственные альпийскому циклу, они практически не проявлялись (или проявлялись очень слабо) в более ранних тектономагматических циклах. С чем это связано, будет понятно при обсуждении причин эволюции геодинамического режима во времени.

Давайте теперь рассмотрим, как влияет астеносфера на процесс образования складчатых поясов. В том случае, который изображен на рисунках, тектоноген пришелся на край астеносферной линзы, и в результате получился практически односторонний ороген. Если бы линза оказалась с другой стороны, вся вергентность в складчатом поясе была бы направлена в другую сторону. А если бы тектоноген попал точно в середину астеносферной линзы, мы были бы вынуждены нарисовать двусторонний ороген, с краевыми прогибами с обеих сторон. И надо отметить, таковые имеются в природе.

Снова смотрим на ***рис. 15***, который изображает постепенную канализацию потоков водорода по мере увеличения мощности металлосферы. Из этого следует, что в мезо-кайнозое астеносфера уже не представляла сплошного слоя, а проявлялась лишь местами (линзами, как в настоящее время, судя по геофизическим данным). В нашей модели образования океана предусмотрено существование астеносферы, и поэтому диапиры силицидов подходят близко к поверхности лишь на зрелой стадии его развития. Но там, где астеносферы нет или она сильно редуцирована, диапиры силицидов могут внедряться в кору уже на стадии первичного рифтогенеза, что подтверждается геофизическими данными (если рассматривать их в рамках нашей концепции).

Вспомним, что «каждый цикл начинается с процесса расширения планеты, который препровождается более длительной дегазацией...». Следовательно, в самом начале тектономагматического

цикла, там, где не было астеносферы, континентальная кора разрывалась по зоне расширения, раздвигалась, и в результате закладывался бассейн с корой океанического типа, что-то вроде современного Красного моря. В недрах этого бассейна, из-за близкого к поверхности положения силицидов, имели место те же процессы, что и в осевых частях зрелых океанов: изливались базальты, формировался комплекс параллельных даек, наращивалась утоненная раздвигом литосфера базит-ультрабазитового состава (за счет силикатизации силицидов), вершился специфический рудогенез с преобладанием сидерофильных и халькофильных элементов. И все это на фоне истечения «остаточного» водорода из глубинных зон интерметаллических диапиров (зоной питания диапиров является слой *D''*, окружающий ядро, в котором остается некоторая доля водорода). Этот водород собирался в верхних горизонтах металлосферы, непосредственно под литосферой, которая являлась для него барьером. Но вместе с тем это означает появление (подновление) астеносферы.

И если теперь в данной зоне (или рядом) устанавливался поток водорода, идущий от ядра (помните, «расширение планеты препровождается более длительной дегазацией»), и закладывался тектоноген, то дальше шли все те процессы, которые были прописаны выше ***(см. рис. 22 и 23)***. Разумеется, затем после тектонического скучивания и эрозии мы будем находить фрагменты коры океанического типа в меланжах и выдавленных покровных структурах. Но это не означает, что началом складчатого пояса был океан вроде современной Атлантики. Просто изначально закладывались структуры раздвига типа Красного моря в связи с очередным циклом расширения планеты, но основные масштабы погружения и формирования осадочного бассейна были связаны с последующей работой тектоногена и зоной заглатывания ***(рис. 23а)***.

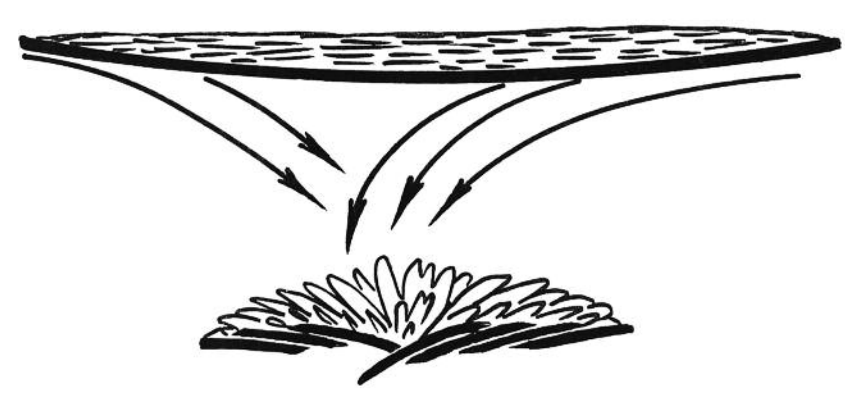
9.1.1. Моделирование складчатых зон

Идея эксперимента заключалась в определении характера деформаций пластических масс при сокращении площади основания, на котором они залегают (т.е. при сокращении поперечного сечения бассейна осадконакопления). При этом в модель изначально закладывалось «торошение» жесткого верхнего слоя литосферы, на котором залегают молодые и пластичные осадки. Мы

полагаем, что это «торошение» ***(рис. 24)*** является реакцией «кристаллического цоколя» бассейнов на вязкопластичные течения в более глубоких горизонтах в связи с заполнением зоны заглатывания и заплыванием астеносферной воронки ***(рис. 23б)***.

Рис. 24.

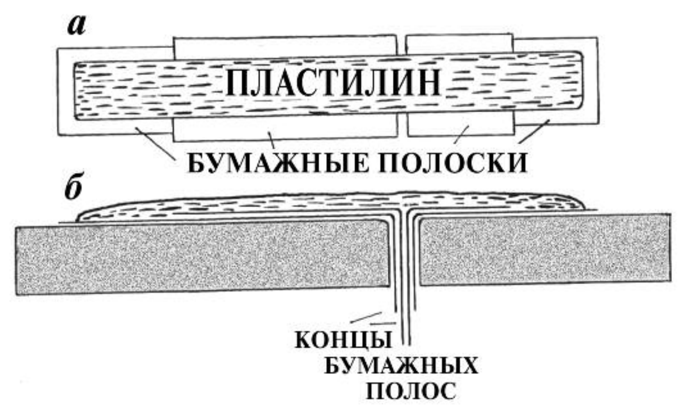
Предполагаемый характер «торошения» кристаллического фундамента осадочных бассейнов (поперечный разрез).



Исходная модель представляла собой многослойный брикет из разноцветного пластилина, уложенный на бумажные полоски ***(рис. 25)***. Размеры брикета: длина 45–50 см, ширина 5,5–6 см, толщина 0,8–1,1 см.

Рис. 25.

Строение исходной модели: а — вид сверху, б — вид сбоку, серым фоном показана доска со щелью, в которую пропущены концы бумажных полос.

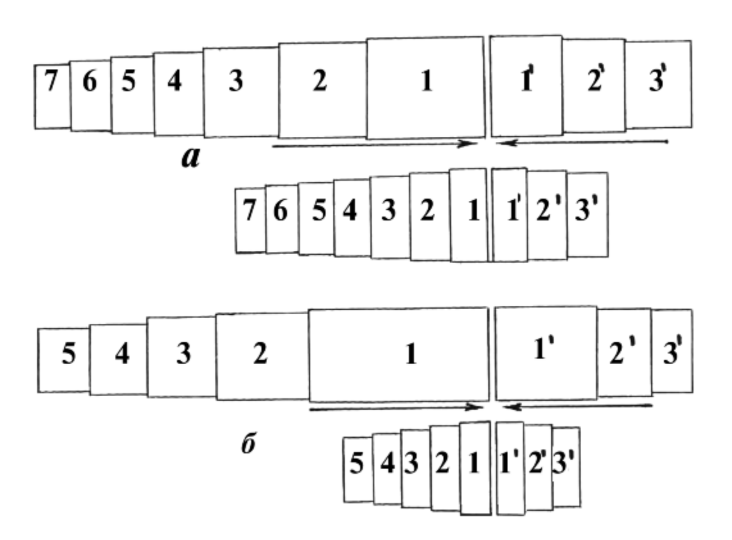


Принцип эксперимента. Исходную модель нагревали до состояния, близкого к плавлению, затем укладывали на плоскую доску, в которой была прорезана щель. Свободные концы бумажных полосок опускались в эту щель. «Торошение» осуществлялось в результате протаскивания бумажных полосок вниз, через щель, сечение которой не допускало существенной утечки нагретого пластилина. Остывшую модель разрезали по длине на серию долей, которые должны были представлять поперечные разрезы складчатых поясов.

Результаты показали, что характерные черты складчатости зависят от масштаба сокращения длины модели (от масштаба «торошения») и характера распределения этого сокращения по длине модели. Методом «проб и ошибок» были выявлены условия, при которых образуются складчатые структуры типа Большого Кавказа и типа Альп ***(рис. 26)***.

Рис. 26.

Масштабы «торошения» и его дифференцированность по длине модели (вид сверху). Показано начальное и конечное положение бумажных полос, подстилающих пластилин: а — вариант для моделей Большого Кавказа, б — вариант для моделей альпийского типа.



Складчатые структуры кавказского типа ***(рис. 27)*** получались при сокращении длины модели в 1,6–1,8 раза, которое распределено по длине модели согласно ***рис. 26а***. На разрезах видны все основные черты, установленные геологами для Большого

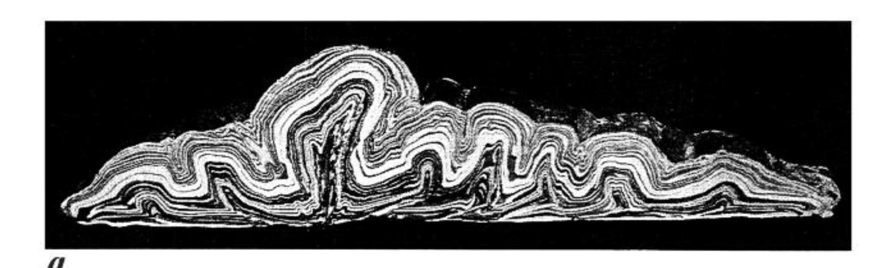
Кавказа ***(рис. 27а, б)***. Это уровни складчатости, закономерно повышающиеся к Главному хребту. Усложнение складок, при движении от предгорий к осевой зоне, от простых брахи-складок через коробчатые к напряженным изоклинальным. «Осевой диапир», в котором древние метаморфические образования (часто со следами течения) выведены на один уровень с молодыми толщами. И, наконец, «вергентность» в обе стороны от осевой части. К этому можно добавить также более напряженную складчатость в синклинальных структурах, которая контрастирует с простыми складками на антиклиналях. Отмеченное «раздавливание» толщ в синклиналях весьма свойственно складчатым поясам и отмечалось многими исследователями. В некоторых моделях над зоной «дивергенции» получался характерный «развал Главного хребта» ***(рис. 27б)***, тогда как в других случаях почему-то происходило выжимание покрова в виде «гигантской лежачей складки» ***(рис. 27в, г)***.

Альпийские складчатые структуры получались при сокращении длины модели в 2,5—3 раза, согласно схеме на ***рис. 26б.*** При этих условиях «торошения» формировались разнообразные покровные структуры как в виде сопряженных лежачих складок, так и в виде покровов-пластин ***(рис. 28а, б)***. Было замечено, что покровы-пластины появлялись преимущественно в тех случаях, когда прогрев исходной модели был неравномерным. В частности, в одном из опытов половина модели была намеренно прогрета немного меньше и, соответственно, имела несколько большую вязкость. В результате данного эксперимента вся зона смятия оказалась перекрыта «гигантскими покровами-пластинами», осложненными крупными лежачими складками ***(рис. 28в)***. Очевидно, в реальных зонах складчатости непременно должны быть вариации по вязкости, как по вертикали, так и по горизонтали, и поэтому данный эксперимент, скорее всего, более соответствовал природным условиям. И, по-видимому, не случайно именно в нем были получены черты «портретного» сходства с теми классическими разрезами Альп, какими их любят представлять альпийские геологи ***(рис. 29)***.

Таким образом, и Альпы, и Кавказ образовались в результате горизонтального сжатия, обусловленного поддвиганием глубинных горизонтов под центральную зону складчатого пояса. Надо сказать, что полевые геологи, досконально знающие геологию, уже давно приняли эту причину в качестве определяющей в процессе формирования альпийских складчатых структур.

Рис. 27а, б, в, г.

Модели типа
Большого Кавказа.



а



б



в



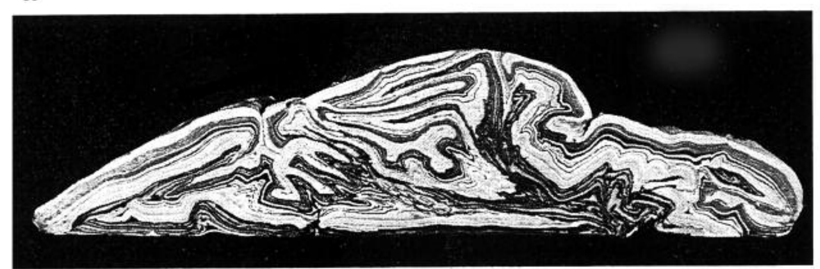
г

Рис. 28а, б, в.

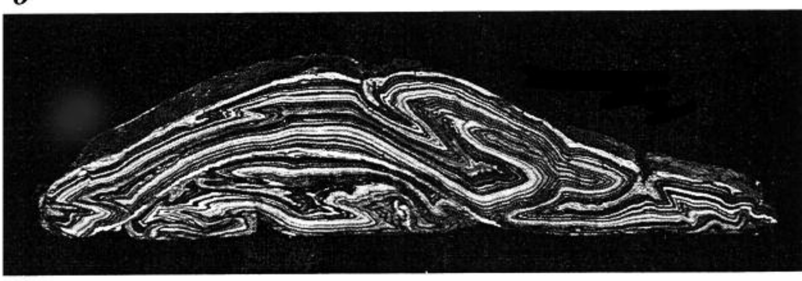
Модели Альпийского типа.



а



б

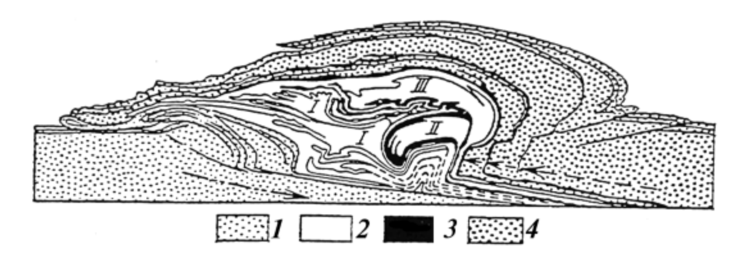


в

Кроме того, наши модели можно рассматривать в качестве иллюстраций классического положения, выдвинутого альпийскими геологами, о том, что геоантиклинальные зоны закладываются над глубинными надвигами (вернее сказать, поддвигами), по которым происходит «сдваивание» пластин гранито-метаморфического цоколя, тогда как прогибы занимают промежуточное положение между растущими кордильерами. Этим «сдваиванием» и увеличением мощности гранитного слоя в какой-то мере, по-видимому, обусловлено размещение месторождений литофильных редких металлов, которые явно тяготеют к геоантиклинальным зонам.

Рис. 29.

Генерализованный разрез Альп (по M.G.Rutten).
1 - форланд Евразии; 2 - покровы пеннид, сформированные в альпийской геосинклинали (Западные Альпы); 3 - породы ультраосновного состава; 4 - австриды Восточных Альп и Африка. I - покров Большой Сен-Бернар; II - покров Монте-Роза; III - покров Дан-Бланш



Надо сказать, эти эксперименты были задуманы и проводились в давние времена, что называется, «шутки ради», не с целью что-то доказать оппонентам, а скорее чтобы отвлечь от уличных забав детей младшего школьного возраста. Но полученные результаты оказались столь эффектными, что заставили задуматься: а не оказалось ли так, что здесь, по воле случая, были соблюдены «условия подобия». Я посмотрел специальную литературу и обнаружил, что при моделировании вязко-пластичных деформаций критерию подобия удовлетворяет формула: $C_\eta = C_d \cdot C_g \cdot C_l \cdot C_t$, где C – отношение соответствующих модельных и природных показателей (η – вязкости, d – плотности, g – ускорения свободного падения, l – длины, t – времени). Для природных процессов можно принять следующие значения: $\eta=10^{19}$Па · с, d=2,6 г/см^3, g=10 м/с^2, l=5 $\cdot 10^7$ см (500 км), t=10 ^{13} сек (миллионы лет). Параметры экспериментов: d=1,8 г/см^3, g=9,8 м/с^2, l=50 см, t=10^2 сек (минуты). Подставляя эти значения в приведенную формулу, получаем вязкость $\eta=10^2$ Па · с (10^3 пуаз), при которой надо было бы проводить эксперименты для соблюдения условий подобия. На специальном вискозиметре была определена температура, при которой наш пластилин приобретал именно эту вязкость. И эта температура оказалась в пределах 55–60 ^{0}C, т.е. именно такой, при которой мы проводили пластилиновые игры с детьми на малогабаритной кухне, не подозревая, что осуществляем важное научное действо.

9.2. Зоны активизации и эпиплатформенного орогенеза

Давайте рассмотрим, что будет, если тектоноген окажется под континентом, в зоне, которую обошли стороной структуры растяжения, связанные с расширением планеты, и где астеносфера либо отсутствует, либо проявлена очень слабо. Из-за отсутствия астеносферы (или ее убогости) вместо широкого бассейна следует ожидать образования серии впадин типа грабенов, выполненных осадками моллассоидного облика. Поскольку нет астеносферы, то нет и депрессионной воронки, соответственно, складчатость будет редуцирована и должны преобладать глыбовые движения. Если нет депрессионной воронки с ее течениями, то не будет и выхода тепла (от вязкопластичного трения) и, соответственно, не будет метаморфизма осадков и корового гранитоидного магматизма. Магматиты преимущественно должны быть представлены мантийными производными с повышенным содержанием калия (эта петрохимическая особенность будет обоснована ниже, в разделе 11). Все перечисленное целиком совпадает с характерными особенностями зон активизации, или «дива» (от китайского «дива-цюй» – депрессия, впадина).

Вместе с тем геологи давно подметили, что в ряде случаев протяженные горные системы образуются вообще без предварительного цикла погружения и осадконакопления. За этим явлением укрепилось название «эпиплатформенный орогенез», а некоторые исследователи предлагали термин «акрогенез», чтобы подчеркнуть отличие складчатых поясов от эпиплатформенного орогенеза. Таковыми являются горы Урала и Тянь-Шаня, воздвигнутые в неоген-четвертичное время. Но в мезозое эти регионы не вовлекались в обширное погружение, хотя местами происходило формирование отдельных грабенов и прогибов, в которых осадки иногда смяты в складки.

Зоны эпиплатформенного орогенеза имеют повышенный тепловой поток по сравнению со щитами и платформами, но он значительно ниже, чем в альпийском складчатом поясе. Значит, тектоногены под данными зонами были «слабыми», что означает меньшую степень насыщения водородом, меньшее заглатывание в устье тектоногена, редуцированное развитие депрессионной воронки, а на поверхности – отдельные прогибы, слабая складчатость, малые объемы магматизма. Но откуда тогда такие масшта-

бы горообразования? Чтобы понять это, необходимо снова вспомнить про расширение планеты и изменение характера истечения водорода во времени ***(рис. 15)*.**

Согласно нашей оценке сила тяжести в палеозое была примерно в 2–2.5 раза больше современной, и давление порядка 100 кбар достигалось на глубине 150 км (сейчас такое давление достигается на глубине 300 км). Соответственно этому градиенту давлений в литосфере палеозоя гораздо большее распространение имели плотные минеральные фазы типа граната. Вместе с тем ***к началу мезозоя произошла канализация потоков водорода (и тепла) в узкие зоны*** и геотермические градиенты в литосфере за пределами этих зон резко снизились. Образно выражаясь, ***подошва литосферы перестала обдуваться водородом-теплоносителем, и она (литосфера) в своем преобладающем объеме как бы претерпела закалку.*** В результате кинетика распада плотных минеральных фаз (при падении давления) сошла на нет, и они получили возможность сохраняться в метастабильном состоянии длительное время. Кстати, не будь этой закалки (под давлением), мы сейчас не имели бы возможности восторгаться завораживающей красотой природного алмаза.

С конца палеозоя до неоген-четвертичного времени сила тяжести уменьшилась примерно в 2 раза, но в «закаленной» литосфере плотные минеральные фазы продолжали сохраняться в метастабильном состоянии. Однако в конце неогена, когда прекратилась дегазация водорода от ядра (связанная с альпийским циклом), тектоногены разуплотнились и выдали накопленное в них тепло и летучие в литосферу. Плотные фазы стали распадаться на менее плотные, т.е. с увеличением объема, и в результате даже над «убогими тектоногенами» выросли горы. Разумеется, данное явление должно проявляться прежде всего в пределах древних платформ, которые длительно находились в состоянии тектонического покоя. Тектонический покой территории означает, что литосфера под ней не подвергалась периодическому промыванию горячими флюидами (из тектоногенов), способными приводить минеральные ассоциации в равновесие с уменьшающимся давлением (повторю на всякий случай: давления в литосфере уменьшаются из-за уменьшения силы тяжести в связи с расширением планеты).

Отсюда вытекает металлогеническая специализация зон активизации, наложенных на древние платформы. Дело в том, что изоморфная емкость кристаллической решетки граната (особенно глубинного, высокобарического) в десятки раз больше в сравнении с оливином, пироксенами и плагиоклазом, на которые он

распадается при снижении давления. Следовательно, при распаде плотных фаз происходит «сброс изоморфных примесей» и в их числе многих редких металлов, весьма полезных для нас. Важно отметить, что металлы изоморфных примесей присутствуют в кристаллической решетке минерала-хозяина в виде отдельных ионов и атомов, и в таком же виде высвобождаются, что весьма способствует их мобилизации горячими многокомпонентными флюидами (содержащими водород, углерод, серу, фосфор, азот, хлор, фтор и др. элементы в виде разнообразных и сложных соединений). А если еще учесть, что флюиды уже в тектоногене были обогащены многими металлами, то нас не должна удивлять богатая и разнообразная металлогения зон активизации в пределах древних платформ*.

** В условиях малых давлений (сиречь, глубин) мантийные породы литосферы представлены плагиоклаз-пироксен-оливиновой минеральной ассоциацией. При повышении давления в них появляется гранат, с увеличением глубины его количество возрастает, и при давлениях свыше 45 кбар гранат становится преобладающей минеральной фазой, а при 80—100 кбар минеральная ассоциация становится почти сплошь гранатовой, возможно, с примесью шпинели. В протерозое (в рифее), когда платформы вошли в режим тектонического покоя, сила тяжести на поверхности составляла 2,5 g, и давление в 45 кбар достигалось на глубине примерно 50 км. К началу мезозоя, когда произошла «закалка» литосферы, сила тяжести на поверхности составляла ≈ 2,0 g, и давление в 45 кбар было на глубине примерно 65—70 км. К концу неогена, при силе тяжести чуть больше 1,0 g, давление в 45 кбар было на глубине 140 км. Следовательно, к концу неогена в литосфере, в интервале глубин от 70 до 140 км, сохранялся гранат в метастабильном состоянии, как преобладающая минеральная фаза. Горячие флюиды, поступившие в литосферу в связи с разуплотнением тектоногенов в неоген-четвертичное время, вызвали распад метастабильного граната, что сопровождалось увеличением объема, результатом чего было горообразование. И если в складчатых поясах орогенез обусловлен разуплотнением тектоногенов, то в областях эпиплатформенного аркогенеза (которые не вовлекались в активное погружение из-за «слабости» тектоногенов) вздымание рельефа связано с распадом метастабильного граната в литосфере от действия горячих флюидов. Напоминаю это к случаю «убогого тектоногена», с малой амплитудой уплотнения и разуплотнения, заложенного под областью, находившейся длительное время в состоянии тектонического покоя.*

9.3. Краевые моря, островные дуги, глубоководные желоба

В рамках тектоники плит эти явления связаны с «субдукцией» океанической коры по зонам Беньофа, и видимо, пришла пора определить наше отношение к этим воззрениям. Вы, читатель, наверняка уже поняли, что предлагаемая мною концепция является полной (я бы даже сказал, абсолютной) альтернативой «Тектонике плит». В данной связи отмечу лишь три момента.

Момент первый: фундаментом *«Тектоники плит»* является убежденность ее создателей и почитателей в том, что *«ядро Земли железное, а мантия силикатная»*. Однако данная версия никогда не была доказана. Обнаруженная мною зависимость распределения элементов в Солнечной системе от их потенциалов ионизации (и все вытекающее из этого) ставит полный запрет на эту версию, и, таким образом, «Тектоника плит» лишается своей основы.

Момент второй: *«плиты»* были придуманы, чтобы доставлять земную кору, которая рождается в осевых частях океанов, к зонам Беньофа, где она якобы «ныряет» (или «заталкивается») в мантию. В рамках нашей модели, океаны являются следствием расширения планеты, и ничего никуда заталкивать не надо, т.е. субдукция не нужна в принципе.

Момент третий: часто можно слышать следующую цепочку рассуждений – раз есть экстремальные тепловые потоки, то должна быть тепловая конвекция в мантии, но если таковая существует, то, как следствие, должна быть «Тектоника плит». Однако эти рассуждения правомерны только при *«железном ядре и силикатной мантии»*, что (повторяю) никогда не было доказано. В рамках наших построений, экстремальные тепловые потоки обеспечиваются водородом-теплоносителем. Разумеется, металлы в зонах инфильтрации водорода прогреваются, однако при этом они не только не разуплотняются, а, наоборот, уплотняются по мере насыщения их протонированным водородом, так что в этих местах не следует ожидать всплывания вещества. Высокие тепловые потоки в осевых частях океанов обусловлены экзотермическими реакциями окисления холодных (!) силицидов, которые в виде диапиров нагнетаются из самых нижних горизонтов металлосферы (из слоя *D''*), но никаких нисходящих ветвей конвективных ячеек нет. Таким образом, с одной стороны, у нас нет никакой необходимости привлекать тепловую конвекцию в связи с глубинной ге-

одинамикой планеты, а с другой – это явление вроде бы оказывается невозможным в рамках нашего понимания планеты.

Здесь будет кстати упомянуть про данные сейсмотомографии, которая выявляет зоны пониженных скоростей в мантии. В рамках бытующих представлений, это результат воздействия высоких температур, и получается, что сейсмотомография якобы однозначно свидетельствует о наличии горячих плюмов в мантии, т.е. о наличии все той же тепловой конвекции. Однако в этой «однозначности» опять же заложено представление о силикатно-окисном сложении всей толщи мантии, что (как и железное ядро), в свете наших данных, представляется ошибочным.

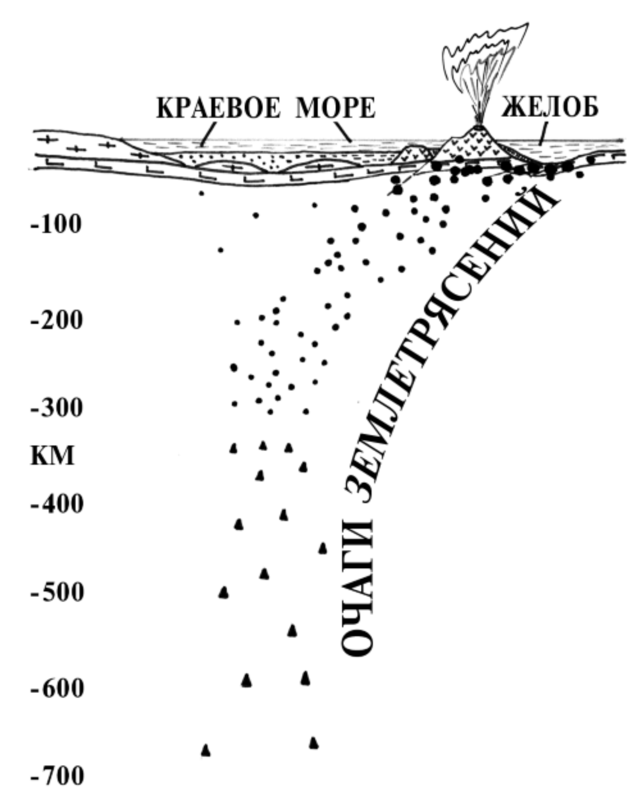
В рамках нашей концепции, пониженные скорости в мантии обусловлены присутствием раствора водорода в данных зонах металлосферы. При дегазации водорода от ядра это представляется весьма естественным. Напомню: скорость звука в твердых телах (она же скорость прохождения сейсмической волны), согласно выражению $\mathbf{V_p^2=E/\rho}$, пропорциональна модулю упругости (**E**) и обратно пропорциональна плотности (ρ). Присутствие водорода в металлах снижает модуль упругости и повышает плотность, т.е. действует на оба параметра в сторону понижения скорости звука. И все это прекрасно происходит и при комнатной температуре, если только есть соответствующие давления. Но необходимые для этого давления заведомо имеются в металлосфере, так что данные сейсмотомографии ничего определенного не говорят нам о температуре, а показывают только зоны скопления водорода. Разумеется, водород как теплоноситель прогревает зоны своей инфильтрации. Но вместе с тем когда бурная дегазация от ядра прекращается, то отдельные скопления водорода могут оставаться в металлосфере, как остаются на небе отдельные облака после бури. Из-за высокой теплопроводности металлосферы они быстро «остывают», но скорости сейсмических волн в этих объемах остаются низкими, поскольку воздействие водорода (в плане размягчения и уплотнения металлов) с падением температуры не прекращается.

Однако пора перейти к обсуждению темы данного раздела (желоб, дуга, краевое море) в рамках нашей концепции. На ***рис. 30*** показано положение очагов землетрясений относительно глубоководного желоба, островной дуги и краевого моря. Наше понимание исходного строения этих областей (того, что было до начала тектономагматической активности, т.е. до заложения зоны Беньофа) отражено на ***рис. 31.*** В разделе 8.3 можно найти объяснение закономерному утонению литосферы в сторону океана, и где-то

выше мы уже обсуждали, почему на современном этапе жизни планеты астеносфера под океанами проявлена гораздо лучше, чем под континентами.

Рис. 30.

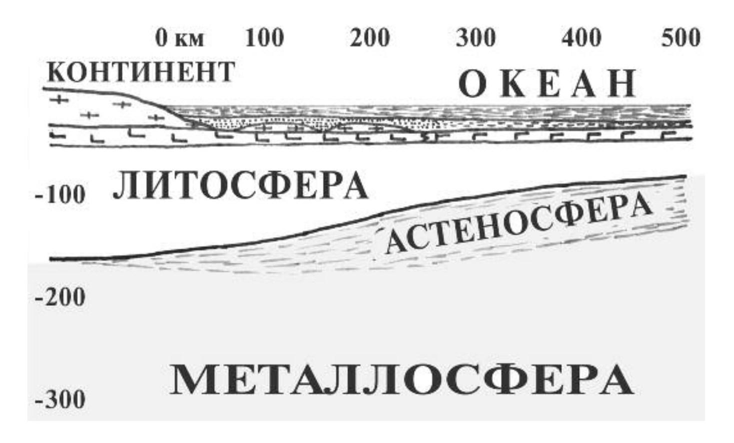
Характер сейсмичности на обобщенном разрезе триады – глубоководный желоб, островная дуга, краевое море.



На ***рис. 32*** изображены последствия заложения тектоногена. Сам тектоноген фиксируется глубокофокусными землетрясениями, которые случаются в интервале глубин примерно от 250 км до 650 км. Обычно эта часть сейсмофокальной зоны располагается вертикально (или близко к этому), и сейсмичность в ней обусловлена изменениями объема металлов при их насыщении водородом (и при его дегазации). Наклонная часть сейсмофокальной зоны (выше 250 км) связана с формированием зоны заглатывания и заплыванием депрессионной воронки в астеносфере.

Рис. 31.

Глубинное строение переходной зоны от континента к океану при отсутствии тектоногена (так называемый, «атлантический» тип сочленения).

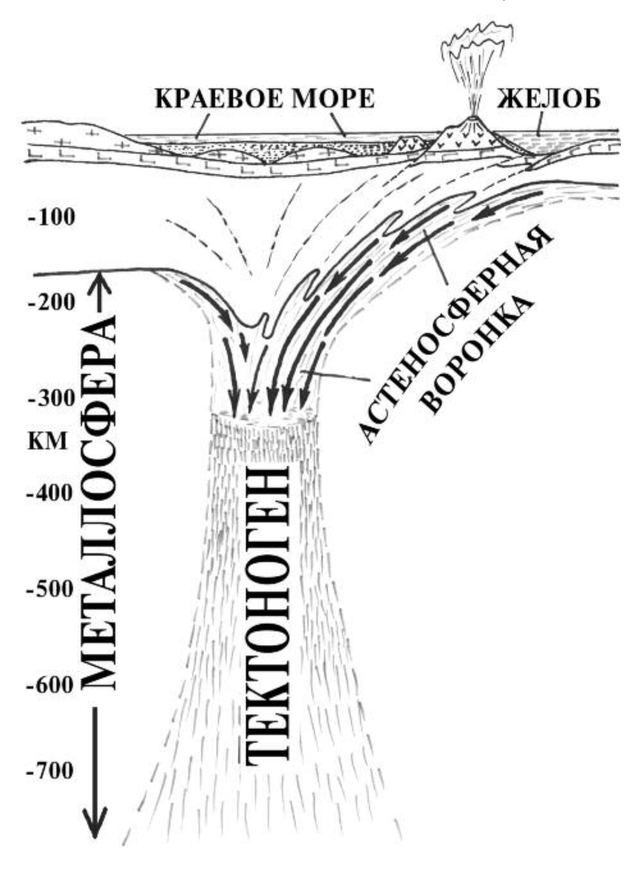


Глубоководный желоб, в нашем понимании, появляется в результате оттока материала астеносферы из-под этой зоны. Таким образом, желоб как бы обрамляет депрессионную воронку в плане, и, по сути дела, это будущий краевой прогиб. Здесь господствует режим растяжения, и с ним мы связываем появление цепочек вулканов, которые обычно привязаны к внутренним склонам желобов. Эти вулканические пояса появляются в связи с разрывами сплошности земной коры, и первоначально вулканы, как правило, появляются в пределах глубоководного желоба как подводные, но затем, по мере накопления извергнутого материала, они постепенно превращаются в острова. Таким образом, и глубоководный желоб, и вулканический пояс обусловлены одной и той же причиной – растяжением земной коры по периферии депрессионной воронки в астеносфере.

В пределах внутреннего моря, ограниченного от океана желобом и вулканическим поясом, преобладает режим сжатия. И здесь можно видеть начало того самого скучивания, о котором мы говорили в связи с альпийским тектогенезом. Это выражается в наличии очагов землетрясений под морями, во всей толще литосферы, от коры до зоны заглатывания. И по масштабам выделения сейсмической энергии можно судить об активности процессов скучивания. Об этом же свидетельствует «коробление» рельефа дна этих акваторий, а местами в них видны явные признаки формирования кордильер, пока подводных.

Рис. 32.

Тектоноген и зона заглатывания в переходной зоне от континента к океану (так называемый «тихоокеанский» тип сочленения).



На ***рисунке 15*** показано генеральное направление эволюции потоков водорода в недрах планеты. Но сейчас нам будут интересны детали этого процесса на современной стадии развития Земли. Для этого было проведено моделирование потока водорода через толщу металлосферы. На ***рис. 33а*** отрезок ***a–b*** является границей металлосферы с литосферой, ***c–d*** – граница с ядром. Скорость диффузии водорода в металлах возрастает с ростом температуры ***(см. рис. 14)***. Следовательно, температуру ***«T»*** можно рассматривать как физическую величину, отражающую проницаемость (или проводимость) водорода в металлах. Соответственно, величина ***1/T***, обратная тем-

пературе, является мерой сопротивления, и при инфильтрации водорода он всегда направляется по пути наименьшего сопротивления, т.е. в сторону минимальных значений величины ***1/T****.

** С началом цикла разложения гидридов концентрация водорода в ядре превышает равновесную концентрацию (обусловленную растворимостью водорода в металлах при существовавших P-T-параметрах). Устанавливается «сверхравновесный» градиент водорода по концентрации (и давлению), и это означает, что водород не просто пассивно всплывает как что-то легкое, но активно нагнетается в металлосферу.*

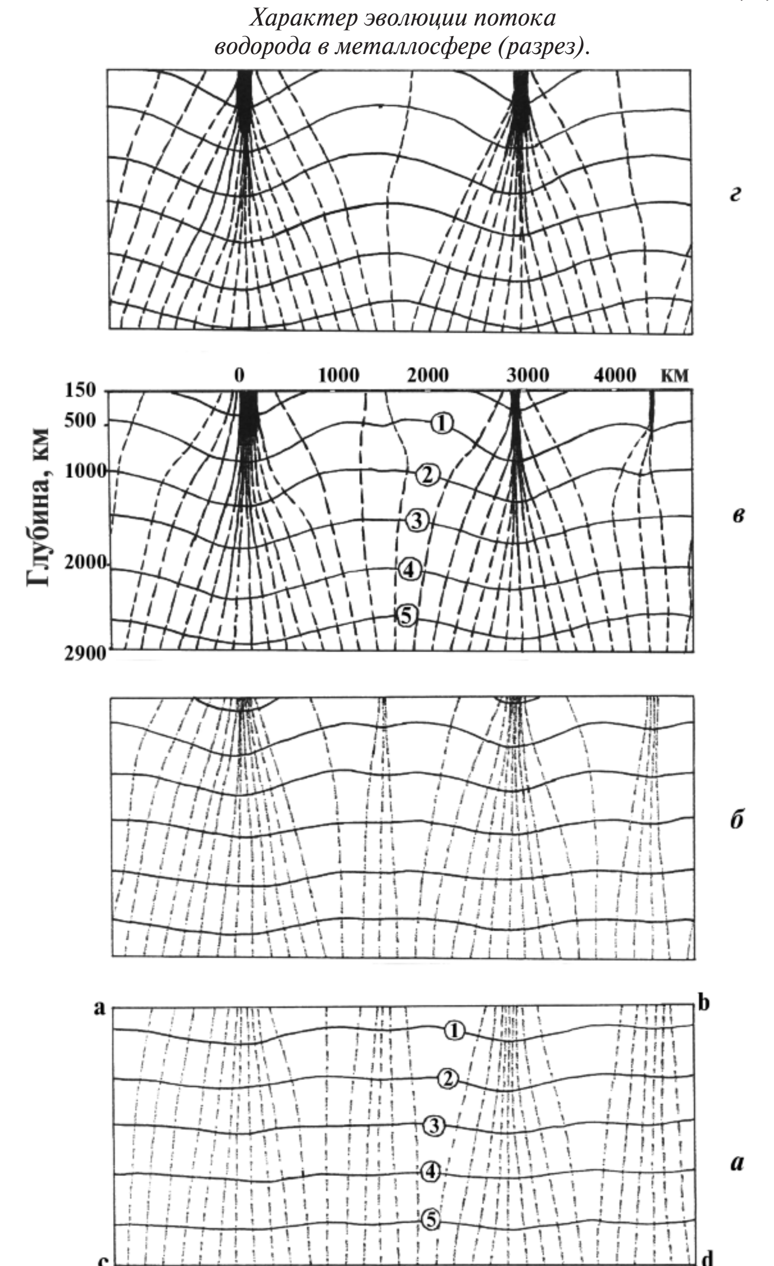
Моделирование начинается с того, что мы задаем температурное поле в металлосфере, для этого проводим изотермы в виде волнистых линий, расположенных горизонтально. Изотермы обращаем в изолинии величины ***1/T*** (именно эти изолинии показаны на ***рисунке 33а***). Поток водорода от подошвы металлосферы моделируется в виде отдельных струек (на ***рисунке 33а*** это вертикальные стрелки). Далее включаются следующие алгоритмы. Каждая струйка движется снизу вверх по кратчайшему расстоянию до изолинии и пересекает ее под прямым углом (это путь наименьшего сопротивления при радиальном перемещении). При этом путь струйки должен иметь наименьшую кривизну.

Первоначальное распределение потока всецело зависит от заданного температурного поля. Однако не следует забывать, что водород является прекрасным теплоносителем и обязательно должен прогревать зоны своей преимущественной инфильтрации. В данной связи включается еще один алгоритм – в местах сгущения струек температура повышается, соответственно, изолинии величины ***1/T*** опускаются вниз, и это обусловливает сбор водородных струек на выходе в изолированные русла ***(рис. 33-б).*** Одновременно с этим крупные потоки начинают перехватывать зоны питания мелких (сравните нижние части рисунков ***рис. 33-а*** и ***33-б***) и, в конце концов, перехватывают их полностью ***(рис. 33-в).*** В результате мелкие потоки постепенно отмирают.

Разумеется, окончательная картина распределения потоков целиком обусловлена изначально заданным температурным полем, и если мы зададим другие тепловые вариации, то и конечный результат будет другим. Но вместе с тем в этом другом варианте обязательно будут те же самые отличительные моменты: стягивание рассеянного стока в изолированные русла и перехват зон питания мелких потоков крупными.

Рис. 33а, б, в, г.

Характер эволюции потока водорода в металлосфере (разрез).



В рамках проведенного моделирования можно наметить обязательную направленность в эволюции тектоногенов. Дело в том, что тектоногены не могут находиться рядом друг с другом (к примеру, на расстоянии в тысячу километров), поскольку столь близко расположенные струи водорода обязательно сольются в единый поток, так как более мощная струя непременно притянет все менее мощные струи, расположенные поблизости, или перехватит на глубине зоны их питания. По всей видимости, именно этот процесс укрупнения тектоногенов идет в западной части Тихого океана к северу и северо-востоку от Австралии. При этом, разумеется, могут оставаться «брошенные» островные дуги, желоба и краевые моря (или их фрагменты), в которых тектономагматическая активность внезапно прекратилась. В сравнении с действующими, эти «брошенные» всегда будут меньших размеров. Глубокофокусная сейсмичность под ними должна быть резко ослаблена, а из-за преждевременного разуплотнения тектоногенов в «брошенных» краевых морях могут возникать архипелаги островов с невысоким («недоношенным») рельефом и слабой складчатостью молодых осадочных пород, выведенных на дневную поверхность.

Отметим еще один обязательный аспект в эволюции ныне действующих тектоногенов. Вначале, при их заложении, эти тектоногены, скорее всего, были более протяженными. Не исключено, что изначально образовался единый (и непрерывный) тектоноген по периферии Тихого океана (за исключением юга), с ответвлениями в его западной части. Однако из-за стремления водорода собираться в отдельные струи единый тектоноген стал разбиваться на изолированные «трубы». При этом возрастала степень насыщения металлов водородом, что вызывало все большее уплотнение тектоногенов и, соответственно, увеличивало глубину зоны заглатывания. В результате в будущем тектономагматическая активность должна будет собраться вокруг таких трубообразных тектоногенов, отстоящих друг от друга не менее чем на 1500 км. При этом глубоководные желоба (в плане) будут приобретать форму, близкую к половине окружности, и будут охватывать (обрисовывать) трубообразные зоны глубокофокусной сейсмичности. Возможно, Марианский желоб продвинулся в этом направлении дальше других.

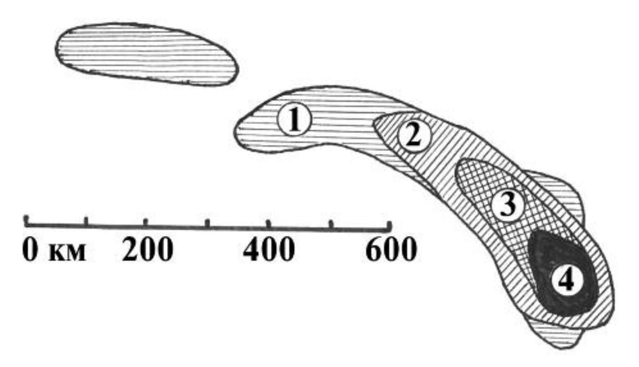
9.4. Происхождение «горячих точек»

Происхождение «горячих точек» также связано с дегазацией водорода. В рамках нашей концепции, они обусловлены маломощными струями водорода, которые не способны сформировать тектоногены ***(см. рис. 33в).*** Вместе с тем эти струи способны обеспечить достаточно активный вулканизм. При этом энергия для магмагенерации привносится как водородом-теплоносителем, так и продуцируется в самой литосфере, в зонах инфильтрации водородных струй. Дело в том, что на выходе из металлосферы водородные струи непременно должны содержать примесь силанов (как вы помните, это кремний-водородные соединения, построенные по типу углеводородов). Силаны, в свою очередь, могут включать в свои соединения другие химические элементы, широко представленные в металлосфере, такие как магний, алюминий и др. И у всех этих элементов (Si, Mg, Al и др.) энергия единичной химической связи с кислородом в 2–2,5 раза выше, чем у железа. Это означает, что силаны в литосфере будут окисляться, забирая кислород у железа, с выделением большого количества энергии. Расчеты показывают: достаточно окислить 4 грамма силанов, чтобы выплавилось 100 грамм магмы. Это очень мощный источник энергии, и, по нашей модели, он широко используется при магмагенерации. Ниже при обсуждении проблемы происхождения траппов мы остановимся на этом вопросе более детально.

Водородный поток изначально может закладываться по достаточно протяженной (в плане) зоне. Однако затем он непременно должен стягиваться в изолированную струю (таково свойство водорода). Поскольку магмагенерация обусловлена внедрением водорода и силанов в литосферу (кстати, сравнительно маломощную в данном случае), то и вулканическая деятельность также должна стягиваться к месту выхода этой водородной струи. На ***рис. 34*** показана схема этого явления. Согласно этой схеме, изначально вулканизм имел место по всей заштрихованной зоне. Затем он прекратился на площади 1, через какое-то время заглох в области 2, затем закончился в области 3, и допустим, что в настоящее время извержения происходят только в зоне 4. В нашем понимании, это ни в коем случае не траектория «горячей точки», обусловленная движением литосферной плиты, а результат стягивания водородного потока в компактную струю.

Рис. 34.

Постепенное стягивание потока водорода в компактную струю (план). Обоснование этого можно видеть на рис. 33. В нашем понимании, с этим связана причина «миграции» горячих точек.



Эту альтернативу легко проверить. Если правомерна тектоника плит, то в зоне 4 не должно быть более ранних вулканитов, имеющих одинаковый возраст с вулканитами зон 1 и 2. Если же правомерна наша точка зрения, то эти более ранние вулканиты обязательно должны быть под современными вулканитами зоны 4 (или в непосредственной близости от них).

Есть еще один способ проверки наших построений. Из-за перехвата зон питания слабых водородных потоков сильными длительность функционирования горячих точек должна закономерно уменьшаться в зависимости от того, как близко они расположены к активным тектоногенам. Т.е. чем ближе «горячая точка» расположена к тектоногену, тем короче должен быть век ее магматической активности («век» геологического времени, разумеется), и, наоборот, чем дальше она от тектоногена, тем дольше срок ее жизни. Видимо, не случайно Гавайи, с их действующими вулканами, расположены в центральной зоне Тихого океана.

Кстати сказать, на этих вулканах периодически наблюдается одно очень эффектное явление, весьма приятное для нашей точки зрения. Во время активизации вулканической деятельности, когда уровень лавы в кратере повышается и она начинает изливаться, над лавовым озером возникает «большое пламя» («large flame») высотой до 150–180 метров. Вулканологи определили, что это результат сгорания водорода. Большое пламя держится несколько суток, затем постепенно сокращается и исчезает. Однако исследо-

ватели полагают, что дегазация водорода при этом не прекращается, а лишь ослабевает и что процесс окисления водорода до воды перемещается под поверхность жидкой лавы.

Было бы очень любопытно узнать изотопию этого водорода. Протий в два раза легче дейтерия, и поэтому диссипация протия в космическое пространство осуществляется в несколько раз более эффективно. В результате гидросфера Земли обогащается дейтерием в сравнении с изотопией глубинного водорода. На этой основе можно было бы установить меру участия воды гидросферы в образовании водородных потоков горячих точек. Рискну высказать предположение, что эта мера будет весьма малой, по крайней мере, существенно меньшей в сравнении с «курильщиками» в рифтовых частях океанов.

10. ЭВОЛЮЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВО ВРЕМЕНИ

За время своей жизни изначально гидридная Земля претерпела кардинальные и необратимые изменения. Объем гидридов сократился от преобладающего в новорожденной планете до объема внутреннего ядра на современном этапе. Резко увеличилась мощность металлосферы, и сейчас она составляет примерно 3/4 объема Земли. Сформировалась литосфера. Объем планеты увеличился почти в пять раз от изначального, а площадь ее поверхности приросла примерно в 3 раза. Разумеется, это отразилось на характере протекавших геологических процессов.

По данным абсолютной геохронологии, древнейшие породы имеют возраст порядка 3,8 миллиарда лет. Они обнажены на щитах докембрийских платформ, и в некоторых местах эти древнейшие породы сохранились с тех времен в неизмененном виде. По составу минералов и минеральных ассоциаций было установлено, что они образовались при давлениях порядка 8–10 килобар, в интервале температур от 650 до 800 ^{0}С, т.е. в условиях гранулитовой фации метаморфизма. Если полагать радиус Земли неизменным (и, соответственно, неизменной силу тяжести на поверхности), то получается, что эти древнейшие породы формировались на глубинах 30–35 км, где литостатическая нагрузка достигала необходимых (8–10 кбар) давлений. Спрашивается: куда подевалась толща архейских пород мощностью в 30–35 км со всех докембрийских платформ? Ни в архее, ни в протерозое нет структур, способных вместить такую массу осадков, т.е. возникает проблема захоронения громадного объема обломочного материала. В рамках традиционных представлений (о постоянстве объема Земли), это одна из неразрешимых загадок архея и давайте назовем ее *«геобарическим парадоксом»*.

С другой стороны, если температура в 650 – 800 ^{0}С была на глубинах 30–35 км, то геотермический градиент для архея оказывается равным 22–23 ^{0}С/км. Однако данное значение градиента ниже современного для планеты. Это находится в вопиющем противоречии с характером распада радиоактивных элементов и масштабами генерации радиогенного тепла во времени. В архейскую эру радиогенного тепла выделялось в несколько раз больше, чем в

кайнозое (за единицу времени, разумеется). Назовем эту несуразность *«геотермическим парадоксом»* архея.

Следует также отметить *«безводный»* режим метаморфизма, при котором сформировались гранулиты архея, преимущественно базитовый состав образований, отсутствие линейноориентированных поясов, повсеместность пластических деформаций, создающих хаос мелких структурных форм, при изучении которых создается устойчивое впечатление, что этот хаос явился следствием *«мелкоячеистой конвекции»*.

Кроме того, гранулиты архея содержат очень мало калия. Это особенно бросается в глаза на фоне исключительно мощной нижнепротерозойской гранитизации, сопровождаемой практически повсеместным калиевым метасоматизмом, который проявился прежде всего в виде микроклинизации. Калиевый полевой шпат – микроклин – в обнажениях обычно имеет красный цвет, и это помогает ориентироваться при полевых наблюдениях на щитах. Когда в маршруте вы замечаете, что привычные серые оттенки пород вдруг сменились гораздо более богатой цветовой палитрой с преобладанием розового цвета (и если это не от граната), то почти наверняка, либо вы вышли из архея в протерозой, либо попали в зону, где архейские гранулиты претерпели калиевый метасоматизм протерозойского или более позднего возраста. Получается, что на протяжении почти двух миллиардов лет от рождения планеты вплоть до начала протерозоя что-то сдерживало вынос литофильного калия в верхние горизонты литосферы. Причина этого будет рассмотрена ниже в специальном разделе 11.2, а здесь мы обсудим остальные парадоксы и загадки, упомянутые в этой главе.

«Геобарический и геотермический парадоксы» автоматически исчезают при допущении расширения планеты. Согласно нашей оценке возможного расширения Земли (см. раздел 8.1), сила тяжести в архее была в 3–3,5 раза больше современной, и в этом случае давления порядка 10 кбар достигались на глубинах 8–10 км, что сразу снимает остроту с «проблемы захоронения». Кроме того, если температура в 650 – 800 ^{0}C достигалась уже на глубине 10 км, то получается, что архейский геотермический градиент был примерно в 2,5 раза выше современного, как и должно быть.

В разделе 4 мы уже говорили про образование литосферы на ранних этапах существования планеты в связи с выносом кислорода во внешнюю оболочку в процессе водородной продувки металлосферы. При этом литосфера нарастала только до определенной глубины. Это связано с трансформацией полупроводниково-

го кремния в металлизированное состояние при давлении в 125 кбар (см. рис. № 10). Растворимость водорода в решетке полупроводникового кремния очень мала, тогда как металлизированный кремний (по свойствам он подобен титану) способен растворять очень много водорода. Вместе с тем давно подмечено: чем выше растворимость водорода в решетке металла, тем эффективнее металл очищается от примеси кислорода. Таким образом, при давлениях, превышающих 125 кбар, кремний (в условиях продувки водородом) не может вступать в химическое взаимодействие с кислородом. Наоборот, происходит очищение металлизированного кремния от кислорода (при малой исходной концентрации кислорода, как в нашем случае). Но при меньших давлениях, когда кремний становится полупроводниковым и растворимость водорода в нем резко уменьшается, образование окисла идет весьма энергично с выделением большого количества энергии (тепла)*.

** Кроме того, образование окисла по менее плотной фазе оказывается гораздо более выигрышным с энергетической точки зрения. Это является дополнительным фактором, влияющим на преимущественное образование окиси кремния при давлениях меньших 125 кбар.*

Тепло, выделявшееся при образовании силикатов (это сотни кДж на моль), обеспечивало постоянный подогрев силикатно-окисной оболочки, и она, на протяжении всего процесса своего формирования, вынуждена была пребывать в состоянии тепловой конвекции. Сила тяжести к концу архея была в 3 раза больше современной. Давление в 125 кбар (давление металлизации кремния) достигалось на глубине порядка 130 км, и таковой была мощность архейской литосферы. При тепловой конвекции горизонтальные плечи ячей, как правило, всегда меньше их вертикальной составляющей. Поэтому конвекция в архее могла быть только мелкоячеистой, и характерная размерность архейских структур должна быть в пределах десятков километров, не более.

Теперь относительно безводности архейских гранулитов. В сопоставлении с водородом все петрогенные элементы имеют гораздо большую энергию единичной связи с кислородом. Это значит, что вода в составе глубинного ювенильного флюида (преимущественно водородного) может появиться только после полного окисления петрогенных элементов в литосфере (полного окисления во всем объеме литосферы, поскольку она эффективно перемешивалась конвекцией). Таким образом, появление воды в составе глу-

бинного флюида свидетельствует о завершении формирования литосферы. Под «завершением» в данном случае следует понимать, что к концу архея произошло полное окисление петрогенных элементов во внешней геосфере, мощностью порядка 130 км (при силе тяжести – 3 g). В дальнейшем, в связи с расширением планеты и уменьшением силы тяжести, граница фазового перехода кремния опускалась глубже, и, соответственно, мощность литосферы могла увеличиваться. Но это происходило уже не повсеместно, как в архее, а под поясами тектономагматической активности (в устьях тектоногенов).

Расчеты показывают: для полного окисления архейской литосферы в ней должно было собраться не менее 40% всего запаса кислорода планеты. С конца архея и до настоящего времени на доращивание литосферы было израсходовано еще примерно 27%, остальные 33% остаются в ядре планеты (напомню: исходная доля кислорода в теле планеты, в рамках нашей модели, составляет примерно 1/100 от ее массы). Эти цифры весьма приблизительны, однако они показывают, что к концу архея 40% массы изначально гидридной Земли были очищены от исходной примеси кислорода. Это было возможно только в том случае, если водород в очищаемом объеме присутствовал в виде протонного газа, растворенного в металле, что весьма способствует очищению кристаллических решеток металлов от кислорода. Таким образом, к началу протерозоя Земля израсходовала примерно 40% своих изначальных гидридных запасов. Ниже будет показано, что планеты земного типа живут и развиваются до тех пор, пока не исчерпают свои запасы гидридов, и с исчерпанием этих запасов они «умирают» (в геолого-тектоническом смысле). Соответственно, Земля к концу архея израсходовала 40% своих «жизненных сил», и в данной связи нас не должна удивлять длительность архейской эры, которая занимает не менее 1/3 истории планеты.

Полное окисление петрогенных элементов в объеме архейской литосферы – это очень важный момент в истории развития планеты. С этого времени выделение тепла от экзотермических реакций окисления резко сократилось. В результате резко уменьшился геотермический градиент, соответственно, в литосфере понизились температуры, прекратилась конвекция, и стали появляться ядра стабильности. Вместе с тем с появлением металлосферы и увеличением ее мощности водород при дегазации приобретал возможность разделяться на отдельные потоки, которые, однако, еще не были локализованы в узких зонах. По этой причине концентрация

водорода в них была недостаточной для формирования полноценных зон заглатывания. Соответственно, не было и последующего горообразования, о чем свидетельствует отсутствие моласс в нижнем протерозое. Однако эти потоки обусловили стягивание тектономагматической активности в нижнепротерозойские «зеленокаменные» пояса, облекающие архейские ядра стабильности.

Появление воды в глубинном флюиде обусловило переход к амфиболитовой фации метаморфизма и вызвало исключительно мощную гранитизацию, в результате которой был сформирован гранитный слой земной коры. Специалисты по докембрию утверждают, что 80% гранитного слоя коры современных континентов было сформировано именно в нижнем протерозое. Гранитизация часто проявлялась в виде гранитогнейсовых куполов различных размеров, которые всплывали и сминали вмещающие породы в весьма прихотливые складки.

Формирование гранитного слоя сопровождалось накоплением в коре многих литофильных элементов. Соответственно под корой, в литосферной мантии выделился слой, обедненный этими элементами. С появлением полноценной континентальной коры и обедненного резервуара в мантии (синонимы – деплетированная мантия или рестит) открывается новая страница в характере магматизма планеты. Например, только в архее известны коматииты – это излияния базит-ультрабазитового состава, обогащенные многими литофильными элементами, но в том же архее нет базальтов, выплавляемых из деплетированной мантии. Базальты, обедненные литофильными элементами, проявляются в связи с образованием слоя рестита в мантии. Или еще пример, в архее нет аляскитовых гранитов, крупные плутоны этих пород появляются с рубежа $\approx$ 1,7 млрд. лет как показатель существования зрелой континентальной коры. Примеры подобного рода можно перечислять долго.

Рубеж архея–протерозоя – это время кардинальных изменений условий на поверхности планеты. Согласно нашей концепции, в архее не было гидросферы и не могло быть, поскольку весь кислород, поступавший из недр в связи с водородной продувкой, расходовался на формирование силикатно-окисной литосферы*.

** Вместе с тем нельзя исключить, что в связи с выпадением кометного материала (строительного мусора, оставшегося после формирования внешних планет) вода попадала на Землю. Разумеется, при ударе она испарялась, но кто знает, возможно, в архее на поверхности вода могла конденсироваться и образовывать временные мелководные бассейны (лужи).*

Однако с конца архея с появлением воды в составе глубинного флюида появляется и гидросфера, и для нижнего протерозоя осадконакопление в водной среде становится нормой.

Происходит также кардинальное изменение состава атмосферы: в архее это прежде всего – метан, аммиак, сероводород, угарный газ (CH_4, NH_3, H_2S, CO); в протерозое – азот, кислород, водяной пар, углекислый газ (N_2, O_2, H_2O, CO_2).

В нижнем протерозое происходило постепенное увеличение концентрации кислорода в атмосфере, и в соответствии с этим увеличивалось его содержание в гидросфере в растворенном виде. Это приводило к переводу железа из закисного состояния (FeO) в окисное (Fe_2O_3). И поскольку окисное железо (в отличие от закисного) практически не растворяется в воде, то с увеличением парциального давления кислорода началась эпоха образования осадков, резко обогащенных железом, и в результате сформировались гигантские месторождения железистых кварцитов. Возраст этих месторождений лежит в интервале 2,8–2,2 миллиарда лет. Пик по запасам приходится на время 2,5–2,4 млрд. лет. По всей видимости, накопление железистых кварцитов не случайно совпадает во времени с эпохой формирования гранитного слоя коры. При гранитизации количество темноцветных минералов (содержащих железо) резко уменьшается по сравнению с тем, что было в кристаллических сланцах изначально (до гранитизации). Следовательно, формирование гранитного слоя коры сопровождалось выносом огромных количеств железа. И поскольку гранитный слой, в своем преобладающем объеме, сформировался в нижнем протерозое, то становится понятным, почему железистые кварциты не проявились столь же масштабно за пределами этого временного интервала.

С рубежа в 2 миллиарда лет в разрезах периодически стали появляться «красноцветы». Это свидетельствует о том, что парциальное давление кислорода в атмосфере временами достигало такого уровня, что вызывало полное окисление железа на поверхности планеты. Кислород на поверхность планеты доставляется в основном в виде воды и углекислоты в составе глубинных флюидов. Содержание CO_2 во флюидах обычно варьирует в пределах 1–3%, концентрация в атмосфере в настоящее время составляет порядка 0,1% (вес.). Существует мнение, что кислород в атмосфере появился и поддерживается на определенном уровне в связи с жизнедеятельностью растений, которые усваивают углерод из углекислого газа (в результате фотосинтеза), а кислород выделяют в

атмосферу. Вне всякого сомнения, этот процесс идет на планете. Однако эпохи угленакопления не совпадают во времени с эпохами образования красноцветов, и это заставляет предполагать существование других источников кислорода для пополнения атмосферы.

Несколько лет назад со мной связался Дмитрий Селивановский – физик из славного города Нижнего Новгорода и поведал мне, что при облучении воды шумами в ней резко увеличивается концентрация перекиси водорода – H_2O_2. Сие означает, что шумовая встряска (всего-то порядка 60 децибел в экспериментах) вызывает диссоциацию части молекул воды, водород быстро уходит (благодаря своей способности к диффузии), а кислород остается в воде, и какая-то его часть идет на образование перекиси водорода. Концентрация перекиси легко определяется, только измерять нужно быстро, поскольку это соединение нестойкое и быстро распадается с выделением того же кислорода. Мировой океан постоянно наполнен шумами от штормов, грозовых разрядов, сейсмичности планеты, и когда Селивановский с коллегами оценили возможный приток кислорода в атмосферу от этого явления, то оказалось, что он примерно в 100 раз эффективнее фотосинтеза.

Водород утекает в космическое пространство*, а кислород пополняет атмосферу и активизирует реакции окисления на поверхности планеты, вплоть до появления красноцветов. Причина периодичности этого явления, видимо, связана с циклическим характером водородной дегазации планеты, которая (помимо «водородной продувки») активизирует эндогенную активность планеты, и в том числе ее вулканическую деятельность, влияющую на климат Земли.

** У водорода имеется два стабильных изотопа: протий – ^1H (99,9844%) и дейтерий – ^2D (0,0156%). Поскольку протий в два раза легче, то его диссипация в космическое пространство происходит в несколько раз быстрее. По этой причине гидросфера обогащена дейтерием на 75‰ относительно глубинного флюида. Эта величина определяется по формуле: $(R_{океана}/R_{флюида} - 1) \cdot 1000 = 75‰$, где $R = {}^2D/{}^1H$. Данный факт (обогащение гидросферы дейтерием) со всей очевидностью указывает на диссипацию водорода от Земли в космическое пространство.*

Выше мы говорили про образование «шляп силикатного расплава» в верхних частях интерметаллических диапиров, нагнетаемых в осевые части океанических структур. Как вы помните, это происхо-

дит при контакте силицидов диапиров с водой гидросферы и сопровождается высвобождением водорода, изотопия которого должна соответствовать смеси глубинного водорода (присутствующего в диапирах) и водорода гидросферы, обогащенного дейтерием. Вместе с тем, по нашим представлениям, масса водорода, дегазированного за всю историю планеты, в сотни раз больше его суммарного количества в коре и гидросфере. В данной связи должны существовать струи чисто ювенильного водорода (идущего от ядра планеты и обедненного дейтерием), выносящие водород в атмосферу, из которой он утекает в космическое пространство. Масштабы этого явления должны быть грандиозными, однако следует помнить о его периодичности, прежде чем выказывать претензии в связи с тем, что оно якобы не наблюдается в настоящее время в должном объеме.

Кроме того, водород – это газ без вкуса, цвета и запаха, и поэтому его выходы трудно обнаружить. К тому же из-за своего малого веса он не задерживается на дневной поверхности, а очень быстро уходит в верхние слои атмосферы и далее, т.е. водород – это трудноуловимая субстанция. И тут еще срабатывает психологический фактор: мы не привыкли искать то, чего не может быть, по нашему разумению. В рамках традиционных представлений (ядро – железное, мантия – силикатная) глубинного водорода не должно быть. А если так, то кто будет искать эти водородные струи? Иногда помогал «его величество» случай. Как-то геологам удалось прибыть в эпицентр землетрясения (на Кавказе) сразу после сейсмического толчка, когда еще не осела пыль. У одного из них была бутылка с водой, он вытащил пробку, вылил воду, бутылка заполнилась пыльным воздухом, и ее закупорили. Анализ показал, что содержимое этой бутылки отличается от обычного воздуха аномально большим содержанием водорода.

Впрочем, неуловимости водорода, похоже, приходит конец. Сейчас появились компактные приборы для определения концентрации водорода в атмосфере: загоняете щуп в землю, прокачиваете почвенный воздух в анализатор прибора, и через несколько минут считываете готовый результат. Я не видел публикаций по результатам использования данного прибора. Но весьма показательно, как изменилось отношение к моей концепции у специалистов, которые тестировали этот прибор на природных объектах, от нейтрального или негативного до явно заинтересованного и позитивного. Видимо, они намерили что-то очень интересное и очень неожиданное (в смысле – «неожидаемое») для традиционной точки зрения.

Вместе с тем бывали случаи, когда водород сам себя обнаруживал, и весьма эффектно. В конце 50-х годов XX века в Якутии бурили кимберлитовую трубку «Удачная». С глубины 375 метров ударил фонтан газа, и это оказался водород с небольшой примесью метана. Буровики не были готовы к такому повороту событий, фонтан вспыхнул, и буровая сгорела полностью. Факел горел две недели, затем его потушили взрывом и скважину затампонировали. Судя по пламени, за сутки водорода извергалось не менее 50 тысяч кубометров (более 600 литров в секунду), и за все время горения дебит оставался неизменным. Поразительно, но этот факт никак не обсуждался в научной литературе, а так и остался невостребованным в производственном отчете. В этом же отчете отмечалось, что при проходке шурфов водород часто выходил из трещин «со свистом и плевался щебенкой». Интересно бы знать, сколько подобных невостребованных фактов имеется в производственных отчетах по другим регионам, особенно на площадях альпийского орогенеза и на сопредельных территориях.

Дорогие геологи, коллеги, настало время вытащить все эти факты на свет божий. Нам необходимо знать планетарные масштабы этого явления, чтобы определить, в какой фазе цикла дегазации (и тектоно-магматической активности) находится наша планета на современном этапе своего развития. От этого зависит полнота нашего понимания ее сегодняшней геодинамики, характера сейсмичности и вулканизма, возможных вариаций климата, магнитного поля и др. И все это, как вы понимаете, жизненно важно. Мы ведь знаем, что в прошлом биосфера неоднократно попадала в глобальные катастрофы, и далеко не все эти события можно связать с падениями астероидов, что-то происходило и в связи с внутриземными процессами.

Однако мы отвлеклись и давно пора вернуться к теме изложения. Итак, в рамках нашей модели объем гидросферы на Земле регламентируется не количеством водорода, а той долей кислорода, которая остается после окисления петрогенных элементов при формировании (точнее, при доращивании) литосферы. Несколько ниже, в этом же разделе, мы вернемся к данной проблеме, поскольку нам следует объяснить, каким образом акселерация расширения планеты одновременно обусловила резкое увеличение объема гидросферы, т.е. объяснить, почему гидросфера именно с конца палеозоя и в мезокайнозое стала прибывать в объеме и океанические структуры, в процессе своего заложения, разрастания и углубления, оказались заполненными водой.

Сокращение экзотермических реакций окисления к концу архея обусловило падение температуры в пределах силикатно-окисной оболочки и консолидацию литосферы. В результате в ней стали появляться поля направленных деформаций и создались условия для заложения линейноориентированных структур – нижнепротерозойских зеленокаменных поясов. Начавшийся в нижнем протерозое процесс расширения планеты определил всю дальнейшую эволюцию ее геодинамического режима. Помните, где-то выше мы обсуждали опыты на *«клизматроне»*, показавшие, что с расширением планеты (и увеличением мощности металлосферы) количество структур растяжения на ее поверхности должно уменьшаться, а их протяженность должна увеличиваться. Вместе с этим параллельно во времени, происходила дифференциация потока водорода (***рис. 15***) от повсеместного в архее до разделенного, в последующие эпохи на отдельные струи, которые к концу палеозоя стали собираться в крупные «реки». В данной связи становятся понятными: повсеместность тектономагматической активности в архее, стягивание ее во множественные зеленокаменные пояса нижнего протерозоя, а также трансформация последних в верхнем протерозое и фанерозое во все более протяженные складчатые пояса и закономерное сокращение их количества в каждом последующем цикле.

Сбор водорода в крупные изолированные струи и, наконец, в «реки» обусловливает все большую степень насыщения тектоногенов водородом и, следовательно, все большую глубину зоны заглатывания. Соответственно, должны возрастать и масштабы последующего разуплотнения, определяющего рельеф орогенов. Это является причиной увеличения контрастности тектонических движений во времени, которое проявляется в возрастании интенсивности тектонического скучивания и горообразования от ранних геотектонических циклов к поздним. Как вы помните, моласса появляется в результате эрозии рельефа и отложения обломочного материала в краевых прогибах, межгорных впадинах и прочих депрессиях складчатых поясов. И поскольку тектоническое скучивание и орогенез сопровождаются возведением рельефа, то об интенсивности этих процессов можно судить по относительной распространенности молассы среди других осадочных формаций тектонического цикла. В данной связи можно отметить, что моласса начинает фиксироваться в разрезах складчатых поясов с рубежа примерно 1,65 миллиарда лет назад (т.е. с конца среднего протерозоя), и с каждым новым тектоническим циклом ее относительная распространенность закономерно возрастала.

Вернемся к проблеме резкого увеличения объема гидросферы в течение мезокайнозоя, синхронного с акселерацией расширения планеты. Многим это представляется либо весьма загадочным, либо нереальным, не правда ли? Однако ничего нереального здесь нет, поскольку, в рамках нашей концепции, именно акселерация расширения планеты обусловила прирост гидросферы. Для пояснения этого тезиса мы предлагаем проследить за целой цепью взаимообусловленных явлений. Прежде всего, вспомним, что кислород из внутренних сфер планеты выносится водородными струями. В результате над тектоногенами интерметаллические силициды превращаются в силикаты, т.е. на подошве литосферы формируются выступы из вновь образованных силикатов. Расширение планеты сопровождалось увеличением мощности металлосферы. С увеличением мощности металлосферы число тектоногенов сокращалось, и они становились гораздо более узкими в поперечном сечении (***см. рис. 15***). Отсюда следует, что ***объемы, в которых происходило окисление петрогенных элементов, со временем также сокращались.*** И по всей вероятности, резкий скачок в этом сокращении произошел в мезокайнозое, когда мощность металлосферы приросла настолько, что водородный поток стал собираться в обособленные «водородные реки» с узкой устьевой зоной. Резкое сокращение объемов, в которых только и могло происходить образование силикатов (в связи с тектоногенами), приводило к тому, что кислород начинал поступать в эти объемы в избытке, т.е. сверх того количества, которое требовалось для полного окисления петрогенных элементов. Из этого избытка кислорода производилась вода, благо, что водорода в данной зоне (в устье «водородной реки») более чем достаточно.

Резкое увеличение объема гидросферы в мезокайнозое находит подтверждение по данным изотопии кислорода. Многочисленными исследованиями установлено, что отношение $^{18}O/^{16}O$ в воде мирового океана сохранялось постоянным на протяжении всего мезозоя и кайнозоя. Величине $\delta^{18}O$ в современной морской воде приписывается нулевое значение, т.е. она используется в качестве стандарта. При образовании осадков в морской воде карбонаты, глины и кремни обогащаются тяжелым изотопом кислорода с величиной $\delta^{18}O = +30‰$ (в среднем). За мезокайнозой в океанах накопилось примерно 200 метров осадков. В молодых складчатых поясах накопились километры морских отложений и сотни метров на платформах. И все эти осадки также обогащены тяжелым изотопом кислорода. Но если при этом отношение $^{18}O/^{16}O$ в воде

мирового океана сохранялось постоянным, то спрашивается, каким образом восполнялась потеря ^{18}O. Ответ может быть только один – в мезокайнозое был приток ювенильной воды с повышенным содержанием ^{18}O. Глубинные ювенильные воды (их еще называют магматическими) имеют усредненное значение $\delta^{18}O = +6‰$. Расчеты показывают: для удержания изотопии океана в мезокайнозое на нулевом уровне, его объем должен был удвоиться за счет притока ювенильной воды из недр планеты.

Дорогой читатель, я чувствую, что вам это кажется, мягко говоря, фантастическим. Мне также трудно было смириться с таким выводом. Трудно было представить, что такая огромная субстанция, как океан, может легко менять свои параметры. Но потом я попытался осознать масштабы мирового океана в соответствии с размерами планеты, и мое неверие тут же исчезло. Если представить Землю в виде шара-глобуса диаметром в 2,5 метра (в квартире это будет под потолок), то 5-километровая глубина океана на этом глобусе сократится до одного миллиметра. По сути, океан в масштабах планеты – это тонкая пленка.

Теперь пару слов относительно того, есть ли достаточно эффективные процессы вывода ювенильной воды на поверхность планеты в необходимых количествах. Разумеется, есть, и прежде всего это магматизм, вулканизм и сопутствующие им постмагматические и поствулканические явления. Много лет назад, мои друзья геологи-вулканологи пригласили меня на Камчатку и поселили одного в прекрасном доме на склоне знаменитого вулкана «Мутновский». И надо было такому случиться, что расположенный рядом вулкан «Горелый», как по заказу, стал проявлять свою вулканическую активность. «Горелый» – это небольшой щитовой вулкан, и поэтому не было никаких проблем с восхождением на его вершину. Первые три недели его активность выражалась в газовой продувке, и я постарался ничего не пропустить из того, что происходило. А происходило следующее. На вершине (в верхней части щитового свода) была воронка диаметром в 400 метров и глубиной около 120 метров, с плоским дном и почти вертикальными стенками. Она образовалась во время предыдущих лавовых извержений. Небольшая периферическая камера опорожнилась от магмы через боковой отвод, в образовавшуюся пустоту произошло обрушение кровли, и на поверхности появилась эта самая воронка. Ко времени моего прибытия на ее дне открылась дырка диаметром в 50 метров, имеющая на выходе небольшой раструб до 70 метров. Из этой дырки вырывалась струя раскаленных газов. Со-

вершенно отчетливо было видно, что струя при попадании в раструб не заполняла его, а отрывалась от стенок и сохраняла свой диаметр в 50 метров. Такое происходит с газовыми струями только на сверхзвуковых скоростях (более 330 м/сек). Разумеется, все это сопровождалось весьма впечатляющими звуковыми эффектами. При выходе наружу струя превращалась в столб белого пара, который поднимался на высоту нескольких километров. Струя в основном состояла из водяного газа, и подсчеты показали, что в одну секунду из этой дырки в атмосферу выбрасывалось почти 100 тонн воды. Так вот, всего пять дырок такого типа за 50 миллионов лет способны доставить на поверхность планеты половину объема современной гидросферы. Но ведь это только небольшая дырка диаметром около 50 метров, тогда как вулканические кратеры измеряются сотнями метров и даже километрами. Существует ареальный тип извержений с множественными эксплозивными центрами и т.д. и т.п. Короче говоря, не может быть никаких проблем с доставкой воды на поверхность планеты в необходимых (в рамках нашей модели) количествах.

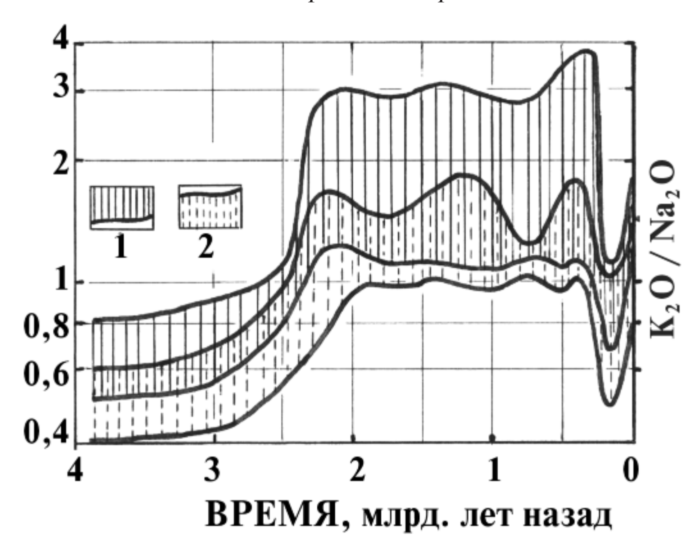
В свете сказанного выше можно утверждать, что объем гидросферы на Земле будет прирастать и в будущем до тех пор, пока существует водородсодержащее ядро планеты. Причины этого были уже названы. И если, дорогой читатель, перечисленное выше не выстраивается у вас в логическую цепь, приводящую к выводу о неизбежности грандиозных трансгрессий в будущем в связи с поднятием уровня океана, то подождите сразу возводить хулу на автора, может быть, стоит еще раз пробежать глазами по некоторым уже прочитанным местам. Мне кажется, сказанного выше достаточно, чтобы модель «ожила», заработала и показала неизбежность именно такого ближайшего геологического будущего.

11. ОБРАЗОВАНИЕ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

На протяжении многих лет группа исследователей методично собирала данные по содержанию калия и натрия по всем типам широко распространенных пород на всех континентах и по всему доступному интервалу геологического времени (Engel et al., 1974). Результаты этого кропотливого труда представлены на ***рис. 35***, который, по сути дела, отражает динамику формирования континентальной коры во времени. Как мы видим, континентальная кора образовалась в нижнем протерозое, и в данной связи возникает два трудных вопроса (по сути, два парадокса). Первый связан с очевидным дефицитом калия в исходной мантии (согласно традиционной точке зрения). Вопрос второй: что удерживало калий и прочие литофильные элементы в мантии почти 2 миллиарда лет и почему они не вовлекались в корообразующие процессы вплоть до начала протерозоя? Обсудим причины появления этих парадоксов.

Рис. 35.

Эволюция отношения K_2O/Na_2O в земной коре во времени:
1 — метаморфические и осадочные породы;
2 — изверженные породы.



11.1. Проблема дефицита калия

Проблема дефицита калия является следствием метеоритной модели Земли. В метеоритах мало калия, и если исходная мантия имела такой же состав, как и метеориты, то чтобы собрать калий, содержащийся в земной коре, необходимо было бы очистить от него мантию до глубины примерно в 1200 км. Однако на континентах имеют место мантийные интрузии и вулканиты с нормальным и даже высоким содержанием калия, внедрение которых происходило уже после формирования сиалической коры. Вместе с тем генерация этих интрузий заведомо происходила в верхней мантии, и в них часто отсутствуют признаки ассимиляции корового материала. В рамках традиционных представлений (ядро – железное, мантия – силикатная) накопилось много противоречий подобного рода. И чтобы понять, откуда они проистекают, давайте вернемся к исходным посылкам метеоритной модели Земли.

К концу XIX века ученое сообщество пришло к окончательному выводу, что камни, падающие с неба, являются планетарным веществом нашей Солнечной системы. Метеориты стали рассматривать как «строительный мусор», оставшийся после завершения грандиозного проекта формирования планет.

В начале XX века появилась наука сейсмология, и очень скоро сеть станций оказалась достаточной, чтобы обнаружить «сейсмическую тень» от ядра планеты. Таким образом, были подтверждены догадки математиков-механиков (основанные на определении момента инерции планеты) о существовании большого и плотного ядра в недрах Земли. На уровне знаний того времени ядро планеты, конечно же, могло быть только железным, поскольку железо – единственный тяжелый элемент, широко распространенный в природе. Более того, среди «строительного мусора» много железных метеоритов (как раз для ядра), а остальные силикатные (из них якобы и была составлена мантия). Среди силикатных метеоритов наибольшее распространение имеют хондриты, и поэтому в науках о Земле уже давно укрепилось понятие «хондритовой мантии».

В данной связи метеориты привлекли к себе особое внимание исследователей и были подвергнуты тщательному и всестороннему изучению. Вместе с тем и геологи за прошедшее столетие собрали громадный фактический материал и в настоящее время могут кое-что сказать о составе континентальной коры и подстилающей ее мантии.

Но если мантия планеты действительно изначально имела хондритовый состав, то из определенного объема хондритов мы легко должны были бы получить состав континентальной коры и состав обедненной мантии, т.е. мантийного рестита, который остается после того, как из хондритов были извлечены коровые элементы. На роль рестита можно определить породы типа дунит-гарцбургитов, которые хорошо изучены. Однако попытка свести баланс по этой схеме (хондриты = кора + мантийный рестит) обнаруживает в исходной (якобы) мантии дефицит одних элементов и явный избыток других. В ***таблице 3*** эта ситуация отражена на малых и следовых элементах (калий для хондритов не является петрогенным элементом).

Таблица 3.

Распределение элементов по группам при хондритовом составе мантии Земли.

Дефицитные	Сбалансированные	Избыточные	Сверхизбыточные
K, Rb, Cs, U, La, Ba, Sr., ...	Ni, Co, Cr, Mn, V, Sc, ...	Au, Pt, Pd, Os, Ir, Be, Ge, ...	C, S, Se, Hg, ...

Таким образом, калий попадает в большую группу дефицитных элементов, и если его все же можно набрать для континентальной коры, очистив преобладающий объем мантии, то хондритовые содержания некоторых других элементов (например, урана) оказываются недостаточными даже при полном их извлечении из всего объема планеты.

С другой стороны никак не меньшая проблема возникает в связи с избыточными элементами, которых в метеоритах в десятки, сотни и даже тысячи раз больше, чем в коре и подстилающей ее мантии. Сторонники изначально хондритовой мантии решают эту проблему допущением дифференциации, которая якобы обусловила захоронение этих элементов на недоступных для нас глубинах (в ядре Земли, например). В рамках традиционных представлений (ядро – железное) такое предположение может показаться оправданным для тяжелых сидерофильных элементов, таких как платина, палладий, осмий, иридий и др.

Однако среди избыточных есть легкий бериллий, у которого ярко выражены литофильные свойства. Его максимальные концентрации отмечаются в грейзенах, пегматитах, щелочных метасоматитах, которые, в свою очередь, проявляются только в блоках континентальной коры с хорошо развитым гранитным слоем. Не-

возможно предположить, что этот литофильный элемент в процессах дифференциации опускался вглубь планеты вместе с тяжелыми сидерофилами.

Кроме того, среди избыточных есть германий, который (в силу своей гомеофильности) относится к геохимическому классу рассеянных элементов. У этого элемента нет склонности концентрироваться в какой-либо петрогенетической формации. Так вот, в метеоритах его на порядок больше в сопоставлении с любой породой коры или мантии. Спрашивается: куда он подевался, если мантия изначально была хондритовая? *

** В мае 1975 года в Москве в Институте геохимии и аналитической химии прочитал лекцию А.Рингвуд, широко известный своими исследованиями по проблемам коры и мантии Земли. В своем сообщении этот очень авторитетный исследователь демонстрировал практически такую же таблицу с дефицитными и избыточными элементами. Однако он «постеснялся» показать в ней германий и бериллий среди избыточных элементов. Я же постеснялся спросить его о причине такой забывчивости, поскольку понимал, что вразумительного ответа (в рамках хондритовой мантии) не может быть в принципе.*

Такой же гомеофильной, по сути дела, является ртуть, которой в метеоритах в 1000 раз больше в сопоставлении со всеми известными породами Земли. Если бы изначально мантия была хондритовой, то под слоем рестита (в основном оливинового) мы были бы вправе ожидать озера ртути с растворенным в ней золотом, которого в метеоритах в 100 раз больше.

Помните авантюрную эпопею инженера Петра Гарина, который с помощью гиперболоида пробился сквозь «оливиновый пояс» (мантийный рестит) к ртутным озерам с растворенным в них золотом. Интересно, кто подсказал эту дерзкую идею русскому писателю Алексею Толстому. Безусловно, это был человек, хорошо осведомленный в области геохимии, но он почему-то не рискнул опубликовать ее в научной печати. Может быть, сомневался в ее обоснованности, а возможно, его испугали вероятные последствия (мировая революция), так красочно представленные Толстым в его талантливом романе.

В свете наших построений выявленные группы элементов являются следствием различий в исходных составах Земли и метеоритного вещества (пояса астероидов). Эти различия были обусловлены магнитной сепарацией элементов по их потенциалам ионизации в процессе формирования протопланетного дис-

ка. Дорогой читатель, сравните ***таблицу 3*** с ***рис. 4*** и вам сразу станет понятным, почему метеориты не могут приниматься в качестве исходного вещества нашей планеты. Однако весь фактический материал по метеоритам не только не теряет своего значения, а, напротив, приобретает особую актуальность, поскольку его можно использовать для оценки исходного состава Земли, но с учетом магнитной сепарации элементов на протопланетной стадии.

Положение калия на общем тренде (***см. рис. 4***) позволяет утверждать, что его концентрация на Земле должна быть примерно на порядок выше, чем в метеоритах. Соответственно, при нашей оценке исходного (среднего) содержания калия на планете (K_2O = 0,6%) исчезает проблема дефицита этого элемента. Для образования коры мощностью 37,5 км, составленной из 1 части гранита и 1,5 частей базальта, зона рестита (с содержанием K_2O = 0,05%) в литосфере должна быть развита до глубины всего лишь 120 км. Согласно распространенности эклогитов и дунит-гарцбургитов в коллекциях глубинных нодулей из кимберлитовых трубок, состав рестита можно представить смесью из 0,5 части базальтов и 5 частей ультрабазитов. Отсюда следует, что состав первичной силикатно-окисной оболочки планеты (а равным образом и состав исходной неистощенной мантии) может быть задан смесью из 1 части гранита, 2 частей базальта и 5 частей ультрабазитов (дунит-гарцбургитов).

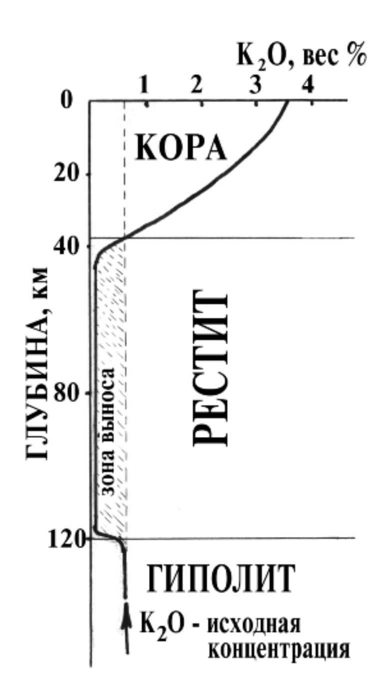
Для данного состава мы предлагаем использовать термин *«гиполит»* (в переводе с греческого – *«глубинный камень»*), который отражает глубинное положение этого недифференцированного субстрата под континентами в настоящее время (***рис. 36***). Кроме того, этот термин имеет отчетливую фонетическую импликацию со словом «гипотеза», что придает ему смысловой оттенок, соответствующий характеру наших рассуждений.

При расчете состава гиполита использованы кларки, по К.Турекьяну и К.Ведеполю, у которых ультрабазиты по главным компонентам близки к шпинелевым и пироповым перидотитам из кимберлитов. Кроме того, эти авторы выделили обогащенные кальцием граниты, весьма сходные по петрохимии со средним составом кристаллических пород сиаля (по Р.Дели). Результаты расчета обнаруживают большое сходство гиполита с верлитами (среднему, по Р.Дели), и, таким образом, его состав не является чем-то экзотическим.

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Сумма
Гиполит	48,2	0,7	8,0	10,4	0,2	24,8	5,5	1,5	0,6	0,1	100%
Верлит	46,5	0,7	5,9	13,3	0,3	23,6	7,7	1,2	0,6	0,2	100%

Рис. 36.

Характер распределения калия в литосфере, основанный на оценке содержания этого элемента в свете магнитной сепарации.



Результаты пересчета гипотетического мантийного субстрата на нормативный минеральный состав (по методу П.Ниггли) приведены в ***таблице 4***. Они показывают, что в условиях малых давлений гиполит может быть плагиоклазовым вебстерит-лерцолитом, тогда как его глубинная фация должна соответствовать гранат-оливиновым пироксенитам.

Таблица 4.

Нормативный минеральный состав гиполита.

На малых глубинах, %		На больших глубинах, %	
Оливин	41,1 (форстерит 74%)	Гранат **	20,7
Плагиоклаз	25,2 (лабрадор, № 51)	Оливин	27,4 (форстерит 72%)
Энстатит	20,0	Омфацит***	23,0
Диопсид	9,6	Энстатит	28,8
Лейцит *	2,8		
Ильменит	1,0		
Апатит	0,3		
* Или ортоклаз (в виде антипертита)		**Гроссуляр-альмандин-пироп (1:1:1) *** Диопсид + жадеит (1:1), жадеит кали-натровый (1:3,5)	

11.2. Задержка с формированием континентальной коры

Континентальная кора с ее гранитным слоем начала формироваться только в нижнем протерозое, т.е. почти через 2 миллиарда лет после образования планеты. И начало этого процесса во времени связано с изменением состава глубинного флюида. Если в архее флюид был безводный, преимущественно водородно-метановый (H_2, CH_4, ...), то в протерозое он становится водно-углекислым (H_2O, CO_2, ...). Выше мы говорили про образование литосферы в связи с выносом кислорода из металлосферы (при продувке ее водородом). Говорили также, что вода может появиться только после полного окисления петрогенных элементов в объеме формирующейся литосферы (поскольку у петрогенных энергия химической связи с кислородом гораздо выше, чем у водорода). Таким образом, появление воды в составе глубинного флюида свидетельствует, что с этого времени все петрогенные элементы в объеме литосферы находятся в виде полных окислов. Говоря про окислы, мы имеем в виду стехиометрию, а не минеральные фазы.

Итак, в рамках наших представлений, силикатно-окисной литосферы изначально не было, и она стала формироваться в связи с выносом кислорода из более глубоких горизонтов планеты. По величинам теплоты образования окислов (в пересчете на единичную связь), мы можем определить порядок их появления: $CaO \rightarrow MgO \rightarrow Al_2O_3 \rightarrow SiO_2 \rightarrow Na_2O \rightarrow FeO$ и, наконец, $\rightarrow H_2O$.

Дорогой читатель, если у вас геологическое образование, то вы наверняка помните классификацию силикатов по Бетехтину, в зависимости от атомного отношения O/Si в анионной группе минерала. При O/Si = 2 кристаллическая решетка представляет собой трехмерный каркас, и силикаты называются каркасными; если O/Si = 3, то она в виде цепочки; при O/Si = 4 силикаты становятся «островными» и полимерные мотивы в них отсутствуют. Эти композиции становятся возможными только тогда, когда все породообразующие элементы присутствуют в виде окислов. Если же окисление не полное и есть «непогашенные кислородом валентности» (особенно если они есть у кремния), то степень полимеризации резко возрастает, и возможными оказываются только трехмерные каркасные структуры.

Калий вместе с алюминием способен образовывать алюмокислородные тетраэдры $R(AlO_4)^{4-}$ (где R – калий, натрий и др. щелочные металлы), которые встраиваются в кристаллические решетки, составленные из кремнекислородных тетраэдров $(SiO_4)^{4-}$. Следует отметить, что при плавлении полимерные мотивы силикатов сохраняются, нарушается лишь «дальний порядок» кристаллических структур. И эти нарушения прежде всего происходят по алюмокислородным членам, как менее прочным в сравнении с кремнекислородными. Разумеется, алюмокислородные тетраэдры, находящиеся в трехмерном каркасе (в который они прочно вшиты), в гораздо большей степени защищены от разрушения в сравнении с теми, которые встроены в двухмерные ленты или одномерные цепи, являясь их слабым звеном.

Таким образом, вплоть до полного окисления литосферы кристаллические решетки слагающих ее минералов и полимерные мотивы расплавов могли быть только каркасными (трехмерными), и высвобождение калия из них было сильно затруднено. Но с момента полного окисления наряду с каркасными стали появляться ленточные, цепочечные и островные силикаты, из которых калий легко извлекался при динамическом и флюидно-термальном воздействии. И этот «момент» фиксируется по появлению воды в эндогенном флюиде.

Читатель, вы вправе спросить меня: «Какова была минералогия литосферы в раннем архее и до него, когда петрогенные элементы еще находились в стадии окисления?» Отвечаю: «Не знаю, ответ на этот вопрос должна дать экспериментальная минералогия». Вместе с тем размышления над этим вопросом склоняют меня к предположению, что одним из первых породообразующих мине-

ралов в литосфере и коре архея мог быть анортит (это каркасный минерал, а CaO имеет наибольшую теплоту образования среди петрогенных окислов). Видимо, не случайно среди древнейших комплексов пород достаточно широко представлены анортозиты, которых практически нет в фанерозое. Мне также кажется, что должна быть зависимость: чем древнее анортозиты, тем основнее в них должен быть плагиоклаз. Но, возможно, мне это только кажется.

11.3. Гиполит гранатитовый и пиролитовый

Вместе с тем отнюдь не вся литосфера после ее полного окисления освобождалась от калия и прочих литофильных элементов. Они выносились только из верхней части литосферы, в которой преобладающими минералами были пироксены и оливин. В нижней ее части, где преимущественным минералом был гранат, литофильные элементы входили в его кристаллическую решетку в виде изоморфной примеси. И поскольку гранат в условиях высоких давлений является самым тугоплавким из породообразующих, то извлечение изоморфных примесей из его решеток весьма затруднено.

Минеральный состав глубинной фации пиролита, представленный в ***таблице 4***, соответствует давлению примерно 30–40 кбар. Но при дальнейшем увеличении давления он меняется в сторону все большего содержания граната, состав которого становится также более сложным. К примеру, в нем начинает растворяться во все больших количествах гроссуляровая составляющая ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$), и малиновый цвет, свойственный магнезиальному пиропу, становится оранжевым. Такие оранжевые сверхглубинные гранаты обнаруживаются в виде ксенокристов в щелочно-базальтоидных трубках взрыва. Экспериментально показана возможность подмены пары Ca-Si на Na-P, что приводит к образованию в гранате раствора минала $Na_3Al_2P_3O_{12}$ (Thompson, 1975). Установлено также, что вхождение натрия в гранат может осуществляться по схеме CaAl ↔ NaSi или CaAl ↔ NaTi (Ringwood, Major, 1971).

В алмазоносных эклогитах пироксены постоянно обнаруживают примесь калия, тогда как в образцах меньшей глубинности этого не наблюдается. В экспериментах обнаружено, что только при давлениях свыше 40 кбар калий начинает входить в решетку пи-

роксена, а при давлениях порядка100 кбар и больше, сами пироксены приобретают структуру граната и образуют в нем твердый раствор. По всей видимости, с увеличением давления различия в атомных радиусах элементов нивелируются, и это обусловливает отмеченные выше явления.

Но если Земля расширяется, то уменьшается сила тяжести, и, соответственно, давления в мантии тоже должны уменьшаться. Следовательно, в мантийных образцах должны существовать структуры распада твердых растворов. И действительно, такие факты существуют. К примеру, в глубинных нодулях кимберлитовых трубок были обнаружены закономерно ориентированные срастания ильменита и диопсида, которые в условиях высоких давлений превращались в гомогенный гранат (Ringwood, Lavering, 1970). А.Рингвуд и А.Мейджор (1968) обнаружили ориентированные вростки диопсида в гранате и связывают их с распадом твердого раствора. По мнению этих исследователей, такие данные «... свидетельствуют о существовании... гранатово-пироксеновых твердых растворов в природе в прошлом».

В свете сказанного у нас есть основания полагать, что с глубиной увеличивается роль граната, и с некоторого уровня давлений (глубин) он становится преобладающим минералом в составе мантии. Эту нижнюю, наиболее глубинную часть литосферной мантии можно назвать гранатитовой. Тогда как верхняя часть литосферы имеет преимущественно пироксен-оливиновый состав, и эту зону можно назвать пиролитовой (по первым слогам преобладающих минералов – ***пир***оксена и ***ол***ивина). Следует отметить, что в нижней гранатитовой зоне литосферы гранаты способны удерживать в своих решетках гораздо больше разнообразных примесей в сравнении с оливином, пироксенами и гранатом из верхней пиролитовой зоны. Среди этих примесей присутствуют калий, рубидий, другие литофильные элементы, а также редкие металлы.

Вместе с тем если планета расширялась и сила тяжести уменьшалась, то пиролитовая зона должна была увеличиваться за счет сокращения объема зоны гранатитовой и граница перехода (скорее, это переходная область) должна была опускаться на б***о***льшие глубины. При этом происходил сброс примесей, которые ранее входили в кристаллические решетки минералов гранатитовой зоны. Эти примеси оказываются в несвязанном виде и распределяются по границам зерен вновь образованных (при распаде твердых растворов гранатита) минеральных фаз пиролита, что способствует их мобилизации при селективном плавлении и промывке мантии глубинным флюидом.

Таким образом, зона пиролита является тем резервуаром, из которого происходила (и происходит) мобилизация литофильных элементов, необходимых для формирования континентальной коры с ее гранитным слоем. И если мы определим динамику расширения планеты во времени, то это даст нам возможность оценить потенциальную способность литосферы отдавать литофильные элементы (и многие редкие металлы в их числе) в различные периоды геологической истории. К сожалению, в настоящее время отсутствуют экспериментальные данные по сжимаемости гидридов в мегабарном диапазоне давлений, и по этой причине мы пока не можем определить динамику расширения теоретически, исходя из нашей модели планеты. Вместе с тем эту динамику мы можем вывести из особенностей строения океанов и поясов тектономагматической активности (разумеется, если рассматривать их в свете наших построений).

Динамика расширения планеты показана на ***рисунке № 37***, там же отражено изменение силы тяжести на ее поверхности (соответствующее этому расширению). К этим графикам не следует относиться строго, они в значительной мере условны и показаны нами лишь с целью «обозначить числом» акселерацию расширения планеты во времени. Вместе с тем, в рамках нашей концепции, эта самая *«акселерация»* должна быть непременно. И следует напомнить, что *«изначально гидридная Земля»* вполне способна обеспечить такие масштабы своего роста.

Рис. 37.

Темпы расширения Земли во времени и характер изменения силы тяжести на ее поверхности.



Построенный график изменения силы тяжести позволяет определить глубину залегания изобары в 100 кбар в недрах планеты на различных этапах ее геологической истории (***см. табл. 5***). В соответствии с данными таблицы 5, под древними докембрийскими платформами объемы пиролита и гранатита в литосфере закономерно менялись из-за расширения планеты. Характер этих изменений представлен на ***рисунке № 38.*** В протерозое изобара в 100 кбар располагалась на глубине примерно 110 км: ниже этого уровня состав литосферной мантии, по всей видимости, был чисто гранатитовый (или шпинель-гранатитовый); тогда как выше, на меньших глубинах, содержание граната уменьшалось, и в минеральном составе постепенно начинала преобладать пироксен-оливиновая (пиролитовая) ассоциация.

Таблица 5.

Глубина изобары "100 кбар" в мантии Земли.*

Эра	Момент времени, (млн. лет назад)	Сила тяжести на поверхности (g)	Глубина изобары «*100 кбар*» (км)
Архей	3000	3,0	100
Протерозой	2000	2,75	110
Рифей	1000	2,5	120
Палеозой	400	2,0	150
Мезозой	150	1,5	200
Кайнозой	Сегодня	1,0	300

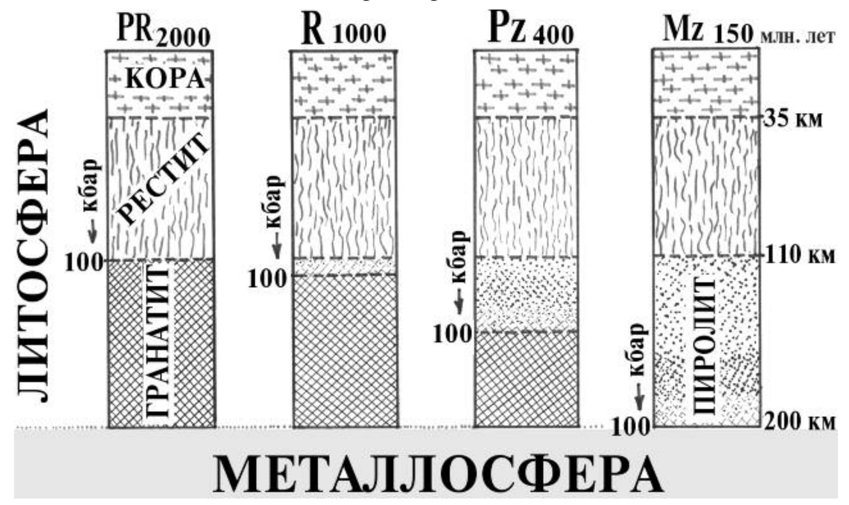
** При средней плотности мантии, равной 3,33 г/см³.*

К концу нижнего протерозоя (≈ 2 миллиарда лет назад) вся зона существовавшего тогда пиролита была превращена в рестит в связи с формированием сиалической коры. В дальнейшем, по мере расширения Земли и погружения *«изобары-100»* под слоем рестита стал нарастать новый слой пиролита, по причине распада гранатита*.

** Следует еще раз пояснить наше понимание терминов, которые используются в этом разделе. Прежде всего, «пиролит» и «гранатит» – это по химическому составу один и тот же «гиполит», но в разном минералогическом представлении. Напомню: гиполит представляет собой первичную недифференцированную (на кору и мантию) литосферу, и его состав соответствует смеси гранита, базальта и ультрабазита (в пропорции 1:2:5). Состав рестита можно представить смесью из базальта и ультрабазита (в пропорции 0,5:5), состав континентальной коры принимается нами в виде смеси гранита и базальта (в пропорции 1:1,5).*

Рис. 38.

Характер эволюции литосферной мантии под древними платформами. Под слоем рестита происходило накопление толщи пиролита за счет распада гранатита в связи с расширением Земли.



В областях тектономагматической активности, где литосфера периодически промывалась глубинным флюидом, этот слой пиролита являлся тем резервуаром, из которого извлекались литофильные элементы, необходимые для формирования континентальной коры в пределах эвгеосинклинальных трогов, заложение которых происходило на коре океанического типа. Однако под древними платформами, которые длительное время пребывали в состоянии тектонического покоя, слой пиролита (пиролитового гиполита) не расходовался, а увеличивал свой объем, и в мезозое, 150 млн. лет назад, его мощность местами могла достигать 90 км (***рис. 38***, последняя колонка).

Исследователи неоднократно отмечали особую металлогеническую значимость зон тектономагматической активизации, проявленных в пределах древних геологических структур, которые до этого (до активизации) длительное время находились в состоянии тектонического покоя. В рамках наших построений, богатая рудная минерализация этих зон обусловлена мощным слоем пиролитового гиполита, накопившегося под древними платформами в связи с расширением планеты. Этим же объясняется резко выраженный щелочной характер магматизма зон активизации.

Итак, в свете наших построений масштабы литофильно-редкометального оруденения должны зависеть от длительности тектонического покоя, предшествовавшего тектономагматической активизации и рудогенезу. Другими словами, чем древнее рудовмещающая структура и чем моложе рудогенез, тем выше должна быть потенциальная рудоносность зоны тектономагматической активизации. Этим выводом можно руководствоваться при перспективной оценке структур на литофильно-редкометальное оруденение фанерозойского возраста. Однако при этом следует учитывать акселерацию расширения Земли во второй половине фанерозоя и соответствующую неравномерность прироста пиролита во времени (см. ***рис. 38***). В этой связи потенциальная рудоносность должна в большей степени определяться временем тектономагматической активизации, т.е. аспект «чем моложе руда...» более существенен, чем время стабилизации рудовмещающего блока, с которого в его пределах установился режим тектонического покоя.

Во времени литофильно-редкометальная минерализация обладает отчетливо выраженным бимодальным характером распределения. Судя по запасам, можно наметить два основных этапа оруденения. Первый (ранний) проявился в протерозое, одновременно с формированием континентальной коры, на фоне мощнейших процессов гранитизации и калиевого метасоматизма. Второй (поздний) начался в верхнем палеозое и особенно интенсивно проявился в мезозое. Причину появления второго – позднего этапа мы только что обсудили. Она связана с появлением мощного слоя пиролита под структурами, пребывавшими длительное время в состоянии тектонического покоя. Но, по сути, эта же причина (появление мощного слоя пиролитового гиполита) обусловила первый (раннепротерозойский) этап литофильно-редкометального оруденения. Однако этот слой пиролита, мощностью в 110 км, образовался к концу архея не в результате распада гранатита, а в связи с формированием силикатной оболочки планеты по силицидам, и эту проблему мы уже обсуждали. И в нижнем протерозое этот слой пиролита превратился в кору и рестит (первая колонка на ***рис. 38***).

Следует отметить, если Земля расширяется, и если этот процесс имеет акселерацию во времени, то в рамках предлагаемой концепции литофильно-редкометальное оруденение в истории планеты обязательно должно иметь бимодальный характер распределения. Конкретные цифры, принятые нами для иллюстрации этого явления (***см. рис. 37*** и ***табл. 5***) могут уточняться, но суть явления (бимодальность) от этого не изменится.

12. ТРАППЫ

Излияния платобазальтов (или траппов) относятся к числу тех грандиозных процессов, которые в значительной мере определили внешний облик нашей планеты, и поэтому каждая концепция, претендующая на глобальный охват геологических событий, должна рассматривать причины этого явления.

Перечислим основные особенности траппов. Во-первых, в основной массе они проявлены в пределах древних платформ. Во-вторых, массовые излияния платобазальтов начались лишь с конца палеозоя, а в мезозое они проявились в громадных объемах. Это пермь-триасовые платобазальты Восточно-Сибирской платформы, сосредоточенные главным образом в Тунгусской синеклизе, триас-юрские долериты и базальты синеклизы Кару на юге Африки, верхнетриасовые излияния в синеклизе Парана Южной Америки, юрские долериты острова Тасмания и Антарктиды (на Земле Виктории они прослежены на протяжении 1600 км) и, наконец, позднемеловые и палеогеновые платобазальты Декана в Индии.

В морфологическом выражении трапповая формация исключительно проста и представлена горизонтальными покровами и силами (пластообразными интрузивными залежами) мощностью в сотни метров. В синеклизе Кару площадь выходов пластообразных интрузивных долеритов во много раз превышает площадь, занятую лавами, и можно считать, что интрузивная составляющая траппов превалирует над излившейся. На территории распространения платобазальтов земная кора несколько прогнута, и излившиеся толщи лежат в пологих синеклизах.

В габбродолеритах интрузивных тел, как правило, отсутствуют гидроксилсодержащие минералы (биотит, роговая обманка) и очень слабо проявлена постмагматическая переработка, что, по всей вероятности, говорит об отсутствии воды в магме. Более того, в траппах обнаружены включения металлического алюминия, железа, муассанита (SiC) и др. «самородностей», которые свидетельствуют о кристаллизации расплавов в условиях резковосстановленного флюида, что подтверждается присутствием водорода в составе газов, извлекаемых из пород и минералов трапповой формации.

По мнению специалистов, траппы, безусловно, выплавлялись из мантии. Вместе с тем в некоторых провинциях, к примеру в юрских долеритах Тасмании и Антарктиды, среднее первичное отно-

шение $^{87}Sr/^{86}Sr$ составляет 0,712. Кроме того, в сопоставлении с океаническими базальтами (толеитами), они обогащены калием, рубидием, ураном, торием, и, таким образом, по геохимическим признакам платобазальты скорее следовало бы считать производными континентальной коры, нежели мантии. Выход из этого парадокса исследователи видят в допущении ассимиляции больших объемов коры (до 30%), но при таких масштабах поглощения сиалического материала траппы уже не смогут оставаться «базитами», скорее уж это будут андезиты или андезито-базальты (которых, естественно, мы не видим в трапповой формации). Чтобы обойти этот «трудный момент» была придумана *«селективная диффузия»* для калия, урана и других элементов (малых, литофильных) из коры в магматические расплавы платобазальтов, и якобы в эту *«диффузию»* петрогенные элементы не вовлекались. Однако совершенно непонятно, по какой такой причине калий, уран и прочие малые элементы (типично коровые, с резко выраженными литофильными свойствами) вдруг резко поменяли бы свою геохимическую склонность концентрироваться именно в континентальной коре.

Наконец, излияния платобазальтов не сопровождаются сколько-нибудь заметной тектонической активизацией, и некоторые исследователи рассматривают траппы как пример автономного магматизма, не имеющего прямой связи с тектоникой. В данной связи возникает проблема с источником энергии, необходимой для таких громадных масштабов плавления, а также возникает вопрос: почему эта энергия выделилась именно под древними платформами, где мантия (судя по тепловому потоку) представляется наиболее холодной. Мне кажется очень странным, что эта проблема (с источником энергии) не обсуждается в литературе.

Рассмотрим причины появления траппов в рамках концепции «изначально гидридной Земли». Массовые излияния платобазальтов совпадают во времени с заложением и развитием современных океанов, т.е. с акселерацией расширения планеты. В соответствии с *«фундаментальными экспериментами на клизматроне»* (кавычки отражают самоиронию автора) по мере расширения планеты и увеличения мощности ее металлосферы происходило укрупнение структур растяжения при сокращении их числа. К началу мезозоя эта генерализация обусловила появление единой глобальной системы рифтогенеза, от которой начали разрастаться океаны. Таким образом, в мезозое расширение планеты было локализовано в осевых частях растущих океанов, тогда как за пределами этих зон уве-

личение радиуса Земли сказывалось в основном в уменьшении кривизны ее литосферы.

Судя по малым значениям теплового потока, литосферные блоки с древними платформами являются наиболее жесткими частями континентов. Астеносфера, в нашем представлении, обусловлена повышением пластичности металлов при растворении в них водорода, и выше мы уже много говорили об этом. Однако напомню, что положение астеносферы непосредственно под литосферой обусловлено малой скоростью диффузии водорода через силикаты и окислы (она на 6–7 порядков ниже в сравнении с диффузией через металлы). Поэтому силикатная литосфера играет роль экрана (запруды) для водорода, истекающего из внутренних сфер планеты. Таким образом, наличие астеносферы свидетельствует о скоплении водорода под литосферой, но отнюдь не является показателем высокой температуры и частичного плавления. Кстати сказать, длительное существование локальной зоны частичного плавления в металлосфере представляется невозможным из-за высокой теплопроводности металлов (отток тепла происходит слишком быстро).

При уменьшении кривизны жестких литосферных блоков в них появляются вполне определенные деформации (см. ***рис. 39***). В нижних горизонтах под действием растягивающих напряжений должно происходить заложение вертикальных тектонически ослабленных зон, проникающих от подошвы литосферы до середины ее мощности. В верхних частях литосферы уменьшение кривизны стимулирует появление (уже в пределах коры) горизонтально ориентированных тектонически ослабленных зон по типу трещин отслаивания (см. ***рис. 39***)*.

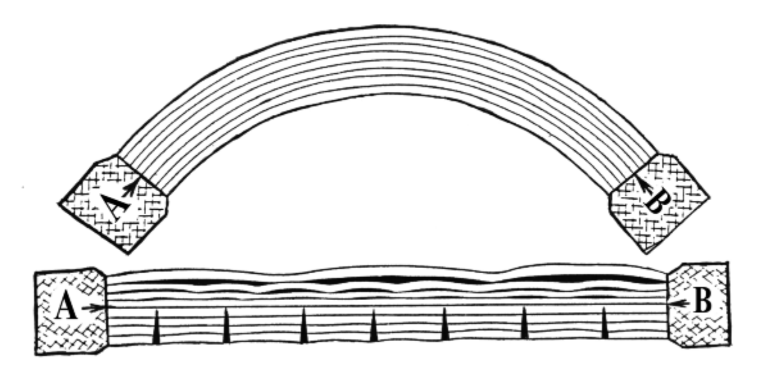
** В недрах Земли, на глубине десятков километров и более, не может быть разрывов сплошности с зиянием, поскольку там велико всестороннее сжатие. Однако приложение определенного вида напряжений (например, растягивающих) снимает долю нагрузки по одной из осей эллипсоида напряжений, и это тектонически ослабленное направление может быть использовано при всякого рода инъекциях.*

В рамках предлагаемой концепции спокойный тектонический режим формирования трапповой формации не позволяет предполагать заложение экстремального теплового потока, обусловленного истечением из недр планеты водорода-теплоносителя (существование такого потока непременно вызвало бы образование

тектоногена со всеми сопутствующими явлениями). Однако постоянное присутствие водорода в траппах показывает, что без него все-таки не обошлось. По нашей модели водород обязательно должен скапливаться под литосферой, где-то в бóльших, где-то в меньших количествах. И как было уже показано, даже незначительная примесь водорода в металлах в условиях высоких давлений (10 кбар и выше) может быть причиной резкого повышения пластичности.

Рис. 39.

Характер деформаций изогнутой слоистой плиты при уменьшении ее кривизны. Черным цветом залиты разрывы сплошности. Приведенный характер деформаций будет иметь место, если сохраняется длина линии АВ.



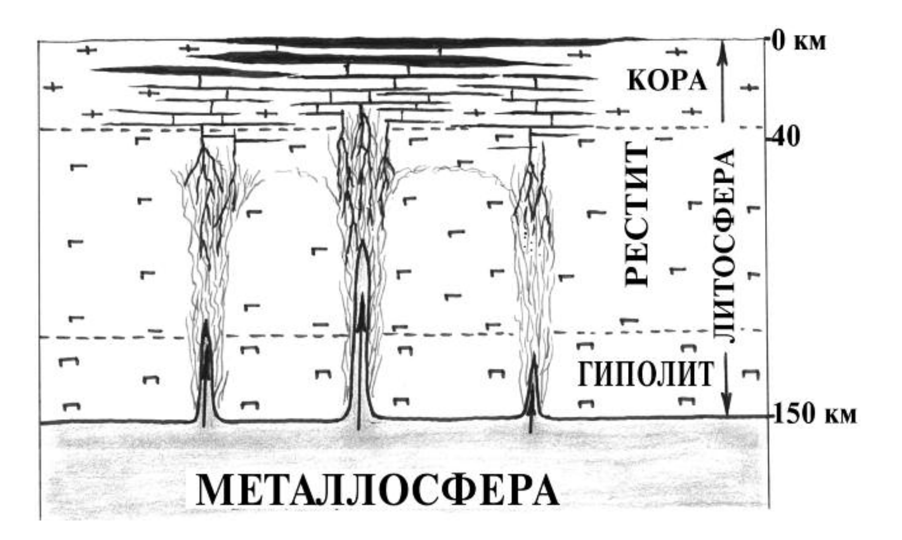
Совершенно очевидно, что если существуют тектонически ослабленные зоны (где растягивающие напряжения снимают часть литостатической нагрузки) и если с этими зонами контактирует пластичное вещество, способное к вязкому течению, то оно, безусловно, будет заполнять эти тектонически ослабленные зоны. Любопытно отметить, что это скорее процесс всасывания пластичного вещества в тектонически ослабленные зоны, нежели нагнетание его туда под давлением. И процесс этот начинается с проникновения клиньев интерметаллических силицидов в силикатную литосферу.

Химические элементы в литосфере присутствуют в основном в окисленном виде (говоря про окислы, мы имеем в виду стехиометрию, а не минералогию). У многих из них энергия химической связи сравнительно невысока. К таковым, с невысокой энергией, относятся: железо, марганец, прочие переходные металлы (Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd, Sn, Sb ...), а также C, S, P и др. С другой стороны,

большинство наиболее распространенных элементов в составе силицидов (Si, Mg, Al, Ca и щелочные металлы) имеют гораздо б**о**льшую энергию химической связи с кислородом. Поэтому при контакте пород литосферы с силицидами начинаются химические реакции с перераспределением кислорода и выделением большого количества тепла. Расчеты показывают: при окислении четырех граммов интерметаллических силицидов выделяется достаточно тепла для получения 100 грамм силикатного расплава. В данной связи от каждого интерметаллического клина вздуваются зоны магмагенерации, приобретающие форму пламени свечи. Образованные расплавы интрудируют в кору, где заполняют горизонтальные тектонически ослабленные зоны («трещины отслаивания», ***см. рис. 39 и 40***), а также изливаются на поверхность планеты.

Рис. 40.

Модель образования траппов с позиций изначально гидридной Земли.



Таким образом, кислород может извлекаться из минералов, содержащих железо, марганец (Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd, Sn, Sb...), а также из сульфатов, фосфатов, карбонатов, из минералов, содержащих гидроксильную воду, и т.д. Например: $(CO_3)^{2-} + Si = (SiO_3)^{2-} + C + Q$, где Q – тепло порядка 500 кДж/моль. Углерод, выделяющийся при этой реакции, может соединяться с кремнием с образованием муассанита – SiC. Эти реакции однозначно определяют резко вос-

становленный режим флюида в магматическом расплаве, отсутствие в нем воды и обязательное наличие водорода. Последний мог поступать в зону магмагенерации вместе с силицидами (он присутствует в них в растворенном виде), а также выделяться в результате реакций компонентов силицидов с гидроксилсодержащими минералами литосферы: $OH^{-} + Me = MeO^{-} + H$, где Me – компонент силицидов, энергия образования единичной связи которого с кислородом существенно больше энергии химической связи кислорода с водородом в гидроксиле.

При этом, согласно нашей схеме строения литосферной мантии (***см. рис. 33***), магмагенерация на первых этапах осуществлялась в области гиполита и затем постепенно поднималась в область рестита. Как вы помните, гиполит является резервуаром неистощенной мантии, и в нем, в сравнении с реститом, гораздо больше калия, урана и других литофильных элементов. В следующем разделе будет показано, что 200 миллионов лет назад первичное отношение изотопов стронция ($^{87}Sr/^{86}Sr$) в гиполите составляло 0,712, а в рестите примерно 0,706. В данной связи становятся понятными вариации изотопного отношения стронция в траппах и большая дисперсия в содержаниях калия, урана и прочих литофильных элементов. В рамках наших построений для этого не нужно привлекать ассимиляцию больших объемов сиалического материала.

Здесь можно сделать прогноз относительно того, что в самых ранних магматитах трапповой формации должны наблюдаться максимальные значения отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ и наиболее высокие концентрации литофильных элементов, поскольку первые выплавки должны быть из гиполита. Однако со временем зона магмагенерации перемещалась вверх в область рестита, откуда литофильные элементы (калий, рубидий, уран и др.) были экстрагированы еще в нижнем протерозое, при формировании континентальной коры. По этой причине поздние выплавки должны быть обеднены литофильными элементами, а отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в них должно быть на уровне 0,706±. Разумеется, этот прогноз нужно проверять на извержениях «единой серии», т.е. сближенных в пространстве и во времени, чтобы по возможности застраховаться от попадания в следующий цикл процесса, который снова начинался с внедрения клиньев силицидов в нижние горизонты литосферы.

Обнаружение металлического алюминия в траппах (мелкие пластинчатые зерна размером до 1 мм) научное сообщество никак не хотело принимать в качестве реального факта. Действительно, если вся мантия силикатная, вплоть до ядра, и флюид преимуще-

ственно водно-углекислый (такова традиционная точка зрения) то в ней не может появиться самородный алюминий. Однако авторы столь неожиданной находки (Олейников, Округин, Лескова, 1978) устояли под давлением академических авторитетов, продолжили исследования и обнаружили новые интересные факты. Оказалось, что алюминий обычно содержит примесь магния, а также тонкодисперсные фазы, обогащенные магнием и кремнием. Кроме того, они установили присутствие в траппах самородных Cu, Zn, Pb, Sn, Sb, Cd, Fe (часто в виде разнообразных сплавов).

Авторы находки даже предлагали оппонентам глыбы долеритов и кувалду, чтобы они своими руками раскололи и на свежем сколе опять же сами обнаружили включения металлического алюминия. После такого представления данных трудно не согласиться с очевидным (с тем, что видят твои очи). Но все равно сторонникам традиционной точки зрения этот факт представляется каким-то «чрезмерно эмпирическим», никак не укладывающимся в привычные рамки, и они склонны считать это явление какой-то экзотической флюктуацией.

Легко видеть, что предлагаемая мною концепция находится в полном согласии с присутствием широкого спектра самородных металлов в магматитах трапповой формации. Достаточно напомнить, что все те элементы, которые присутствуют в литосфере как окислы, представлены в клиньях силицидов в виде интерметаллических соединений и сплавов, т.е. в самородном виде. В зонах магмагенерации происходит окисление металлов, имеющих б*о*льшую энергию химической связи с кислородом. Это прежде всего кремний, магний, кальций, алюминий, калий, натрий (и многие другие малые элементы – Ti, Sr, Ba, Be, U, Th, TR и т.д.). Но во-первых, окисление этих представителей периодической системы сопровождается восстановлением до самородного состояния других элементов, у которых энергия связи с кислородом существенно меньше, и некоторые из них уже перечислялись выше. А во-вторых, всегда ли окисление наиболее распространенных металлов (Si, Mg, Al, Ca) происходит до конца, без остатка? Клинья силицидов, внедряющиеся в литосферу, представляются очень объемными. Экзотермические реакции при их контакте с силикатами и окислами должны быть достаточно бурными, соответственно, весьма энергичными должны были быть магмагенерация и связанные с нею интрузивный и эффузивный процессы. Вполне вероятно, что в некоторых случаях химические реакции перераспределения кислорода прерывались быстрой закалкой магматических расплавов при

их внедрении в холодную кору или при излиянии на поверхность. Шансы уцелеть в зоне воздействия экзогенных факторов выше всего у алюминия, который покрывается тонкой защитной пленкой плотного оксида. Но разумеется, к этому алюминию могут быть подмешаны прежде всего кремний и магний как наиболее распространенные элементы интерметаллических силицидов*.

** Надо сказать, эти представления (о возможности встретить металлический алюминий в платобазальтах) сложились у меня достаточно давно, когда я работал над вторым изданием книги «Гипотеза изначально гидридной Земли» (она опубликована в 1980 году). Меня пугал и одновременно интриговал столь необычный (по тем временам) вывод, скорее больше пугал, и я опасался распространяться на эту тему даже среди ближайших коллег, реакцию которых (вращение указательного пальца у виска) можно было легко предугадать. Но тут случилась встреча с моим большим приятелем (кстати, знатоком петрологии), с которым мы собрались куда-то на автомобиле по горнолыжным делам. Я не утерпел и задал вопрос по поводу самородного алюминия. Он посмотрел на меня проницательным взглядом домашнего доктора, видимо, хотел выяснить, не принял ли я чего необычного, покрутил головой и неопределенно ответил: «Однако?!». Мы тронулись, и после некоторой паузы мой приятель продолжил: «Впрочем, знаешь, мы сейчас должны подхватить еще одного мужика, он геолог из Якутска и занимается траппами... может, чего скажет». Через несколько минут подсадили этого парня и не успели тронуться с места, как он, не сказав даже «здрасте», стал умолять нас свести его с людьми, которые смогли бы объяснить, откуда в базальтах может быть самородный алюминий. Михал-Саныч (так зовут моего приятеля) от неожиданности заржал, коротко, по-гусарски. Он знал, что я вижу геолога из Якутска впервые, и поэтому был уверен – розыгрыш исключен, и все же внимательно исследовал выражения наших лиц на предмет тайного сговора, затем снова покрутил головой и не то вопросительно, не то утвердительно изрек: «Бывает?!.. Однако!» Как вы уже поняли, судьба очень оперативно свела меня с одним из авторов будущей публикации на эту тему. Для меня эта встреча была еще одним подтверждением того, что концепция работает.*

Здесь хотелось бы высказать одно соображение, имеющее более общий характер. В процессе магмагенерации (по нашей модели) в расплавах появляется дополнительный кремний из силицидов. Соответственно, отношение O/Si уменьшается в сравнении с таковым в исходном силикатном субстрате литосферы. Следовательно, в полимерных мотивах расплавов должно происходить ус-

ложнение степени ассоциированности кремний-кислородных тетраэдров: от изолированных, свойственных оливину, к непрерывным цепочкам пироксенов, от цепочек к лентам и, наконец, к трехмерным каркасам полевых шпатов и кварца. Таким образом, если в зоне магмагенерации происходит 100% плавление мантийного субстрата, то при кристаллизации этой выплавки должно образоваться меньше оливина, но больше пироксенов и плагиоклаза (т.е. плавим ультрабазит, но из-за добавки кремния получаем габбро, вернее, оливиновый габбронорит).

Следует отметить, что внедрение клиньев интерметаллических силицидов, по всей вероятности, сопровождается отделением весьма специфического флюида, в основе которого водород и силаны (кремний-водородные соединения). Взаимодействие силанов с литосферой точно так же приводит к магмагенерации, при которой также обязательно должно быть усложнение полимерных мотивов в генерируемых расплавах. У меня есть основания полагать, что участие силанов в магматических процессах не ограничивается трапповой формацией, оно гораздо шире, как, собственно, и должно быть при нашем понимании планеты.

В данной связи следует обратить внимание на то, как мы проводим эксперименты при решении петрогенетических вопросов. Суть проблемы покажу на примере из собственной практики. Одно время меня заинтересовало явление ликвации (несмесимости) в силикатных расплавах. Из литературы и собственных наблюдений у меня возникло желание проверить: не связано ли это явление с водородным флюидом. В одном академическом институте нашлась подходящая установка, позволявшая провести плавление под давлением водорода. Навеска была составлена из I части риолита и 2 частей базальта, которые несколько раз тщательно растирались и переплавлялись в муфельной печи для получения гомогенного стекла. Пудра из этого стекла подвергалась плавлению в установке под давлением водорода ($\approx$500 атм), выдерживалась в расплавленном состоянии около одного часа, затем проводилась резкая закалка. Результаты были отрицательные, и это меня сильно удручало, да и времени было потрачено много.

Но тут меня «осенило»: а почему я не моделирую в эксперименте то самое усложнение полимерных мотивов в расплаве, о котором говорилось выше и которое, по моему разумению, должно было иметь место в случаях с ликвацией? В следующем опыте я подмешал в силикатную навеску 2% кремния (Si), истертого до тонкой пудры. В результате этого эксперимента было получено

два стекла (светло-серое и бурое) с четкой фазовой границей между ними. При этом серое стекло имело форму наполовину слившихся капель (или тесно посаженных почек), т.е. имело очень характерную форму, часто наблюдаемую при ликвации на природных объектах. Итак, ликвация получилась. Я, разумеется, показал результат некоторым сотрудникам, которые мне помогали советами и с которыми у меня были прекрасные отношения. Они подтвердили, что действительно есть два стекла с четкой фазовой границей, что означает ликвацию. На радостях я решил сделать перерыв и на выходные отправился домой, как раз был конец недели. Вернулся через три дня, а экспериментальной установки уже нет. Ее разобрали по винтику и куда-то сложили якобы по требованиям техники безопасности перед какой-то большой комиссией. Надо сказать, что мне установка досталась в собранном виде, и все равно на доведение ее до рабочего состояния (чтобы все затворы, краны и капилляры держали давление) ушли месяцы нудной работы. В Москве и области другой подобной установки в рабочем состоянии не оказалось, и мой эксперимент остался незаконченным. Я собирался «поиграть» с составами, температурным режимом, давлением водорода (может, он и не нужен?)... Не довелось, но в этом был (как я сейчас понимаю) и положительный момент, поскольку после этого я решил не отвлекаться на частности, пока не отработаю концепцию в ее глобальном приложении.

И еще, все знают, что при выпечке хлеба происходят необратимые химические реакции, и поэтому никому не приходит в голову, что можно взять старые сухари, тонко растереть их, замешать с водой и получить исходное тесто для выпечки хлеба. Но до того, как меня «осенило», я поступал именно так и пытался получить из старых сухарей свежее тесто для выпечки. То есть я игнорировал возможность того, что магматические процессы могли сопровождаться необратимыми химическими реакциями, приводящими к усложнению полимерных мотивов в силикатных расплавах. Новая модель Земли настоятельно рекомендует учитывать возможность таких необратимых реакций в магматических расплавах, и, разумеется, следует предусматривать это явление в экспериментальных исследованиях.

13. НОВОЕ В ИЗОТОПНОЙ ГЕОХИМИИ

Изотопная геохимия – это узкоспециализированная область знаний и имеет сравнительно мало читателей, понимающих ее в полной мере. В данной связи я сначала вообще не хотел затрагивать эту тему в новой книге. Но многие геологи пользуют изотопно-геохимическую систематику для своих спекуляций и даже не подозревают о тех парадоксах, которые имеются в этой сфере знаний. По этой причине я решил все же показать (в очень сокращенном варианте) то новое, что вносится в изотопную геохимию в рамках предлагаемой концепции, и как это новое позволяет избавиться от накопленных парадоксов. В полном виде эту тему можно найти в моей докторской диссертации, а также в книге «Hydridic Earth».

Обнаруженная нами зависимость распределения химических элементов от их потенциалов ионизации заставляет внести существенные коррективы в изотопную геохимию. В данном разделе рассматриваются системы: уран-свинцовая, самарий-неодимовая, рубидий-стронциевая, а также некоторые аспекты изотопии гелия.

В основе традиционно сложившихся представлений в изотопной геохимии лежат три исходных положения.

Первое – закон радиоактивного распада, при этом предполагается, что константы распада во все времена сохранялись неизменными.

Второе – изначальные (стартовые) отношения изотопов у каждого элемента ($^{87}Sr/^{86}Sr$, $^{143}Nd/^{144}Nd$, $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$) были одинаковы во всех частях Солнечной системы.

Третье – на Земле и в метеоритах (т.е. в поясе астероидов) изначальные отношения элементов (Sm/Nd, U/Pb и др.) были одинаковы.

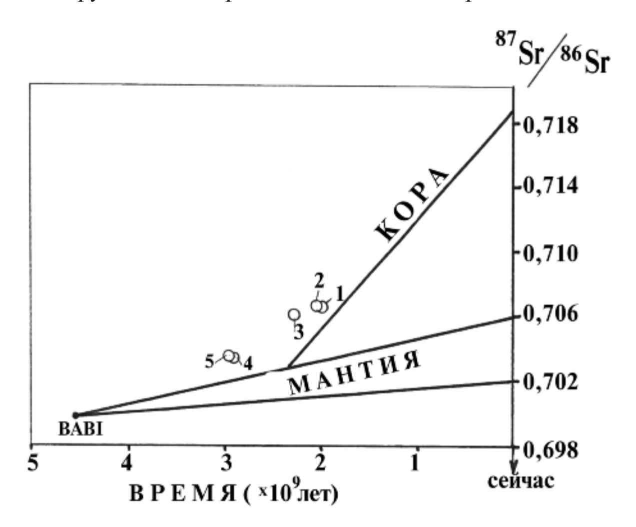
Мы целиком принимаем *«первое»* и *«второе»* положения, но вынуждены отвергнуть «третье», так как обнаружили зависимость распределения элементов в Солнечной системе от их потенциалов ионизации (***см. рис. 4***). Как вы помните (см. разделы 1 и 2), эта зависимость была обусловлена магнитной сепарацией элементов на стадии формирования протопланетного диска. Поэтому изначальные отношения Rb/Sr, Sm/Nd и U/Pb в зоне формирования Земли оказались гораздо выше, чем в зоне пояса астероидов, по-

сколько потенциалы ионизации элементов в числителе меньше таковых в знаменателе.

На ***рис. 41а*** показана традиционно принятая модель Rb/Sr-системы, отражающая характер эволюции отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в коре и мантии. Обратите внимание, на этой модели мантийный резервуар никак не отреагировал на появление континентальной коры. Такое было бы возможно, если бы мантия была бесконечно большим резервуаром рубидия в сравнении с корой. Однако, в рамках той же традиционной точки зрения, это заведомо не так, и поэтому следовало бы учитывать существенное обеднение мантии рубидием при образовании коры. Соответственно, линия развития отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в мантии обязана иметь излом, привязанный к моменту формирования коры, и далее (во времени) должна была бы идти с меньшим наклоном, но это никак не отражено на представленной диаграмме.

Рис. 41а.

Традиционная модель эволюции отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в коре и мантии Земли. Исходная точка "BABI" — аббревиатура от "Basalt Achondrite Best Initiate". Мантия (как материнский резервуар базальтов) оконтурена по океаническим базальтам. Предполагается, что этим исключается возможность загрязнения материалом континентальной коры. Кружки с номерами — см. подписи к рис. 41б.

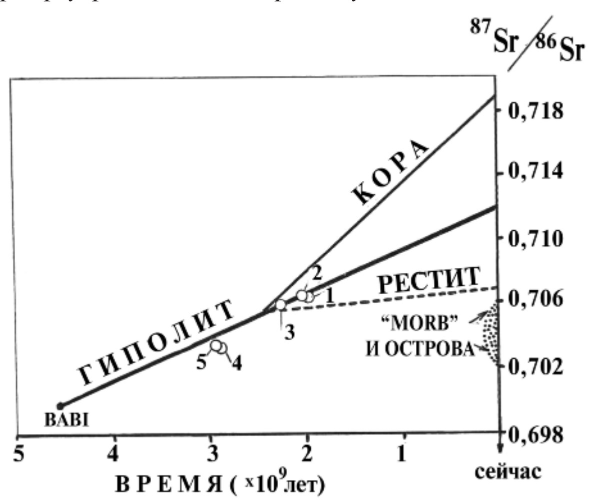


На ***рис. 41б*** показаны наши представления об эволюции отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в коре и мантии, согласно которым одновременно с континентальной корой, обогащенной рубидием, появляется

обедненный мантийный рестит. Однако при этом продолжает существовать (на большей глубине, ***см. рис. 36***) первичный мантийный субстрат – гиполит, в котором Rb/Sr отношение гораздо выше в сравнении с традиционно принятым для мантии. Весьма показательно, что древние базитовые комплексы заведомо мантийного происхождения (Бушвельд, Стиллуотер и др., точки 1–5 на рисунках) хорошо попадают на линию развития нашего гиполита, тогда как в свете традиционных представлений они оказываются как бы «подвешенными в воздухе» и такое их положение оказывается противозаконным.

Рис. 41б.

Наша модель эволюции отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в коре и мантии Земли. Характерная деталь — появление рестита (в связи с формированием континентальной коры), линия развития которого имеет меньший наклон из-за выноса рубидия из этого резервуара в кору.
1—5 — некоторые докембрийские базитовые комплексы заведомо мантийного происхождения: 1 — интрузив Лосберг (Ю.Африка), 2 — Бушвельд (Ю.Африка), 3 — диабаз Ниписсинг (Онтарио, Канада), 4 — Стиллуотер (Монтана, США), 5 — Ушушвана (Ю. Африка).
Обратите внимание, по нашей модели эти базитовые комплексы заведомо мантийного происхождения лежат на линии развития гиполита и, следовательно, они являются производными именно этого резервуара. Особенно наша модель подходит для позднеархейских комплексов (Стиллуотер и Ушушвана), когда кроме гиполита никаких других резервуаров еще не было.
Положение резервуара "MORB и острова" будет объяснено ниже.



На ***рис. 42а*** представлена бытующая в настоящее время модель эволюции изотопов неодима, в которой первичная мантия отождествлена с веществом *«CHUR»* (*CH*-хондритовый *U*-универсальный *R*-резервуар). Согласно этой модели, истощенная мантия появилась одновременно с рождением планеты, тогда как комплементарный ей обогащенный резервуар стал подавать первые признаки своего существования только с конца архея*.

** Специалисты от изотопной геохимии придумали очень неудобную терминологию для Sm/Nd системы. Дело в том, что Nd обладает несколько большей литофильностью (по сравнению с Sm), и поэтому кора оказывается обогащенной неодимом, и Sm/Nd отношение в ней оказывается ниже, чем в исходной мантии. Соответственно, в коре наблюдаются отрицательные значения ξNd, но геохимики по сложившейся традиции вынуждены называть кору обогащенным резервуаром. Однако к этому терминологическому «недоразумению» легко привыкаешь.*

Рис. 42а.

Традиционная модель эволюции изотопов неодима, в которой первичная мантия отождествлена с веществом "CHUR" (CH-хондритовый U-универсальный R-резервуар).

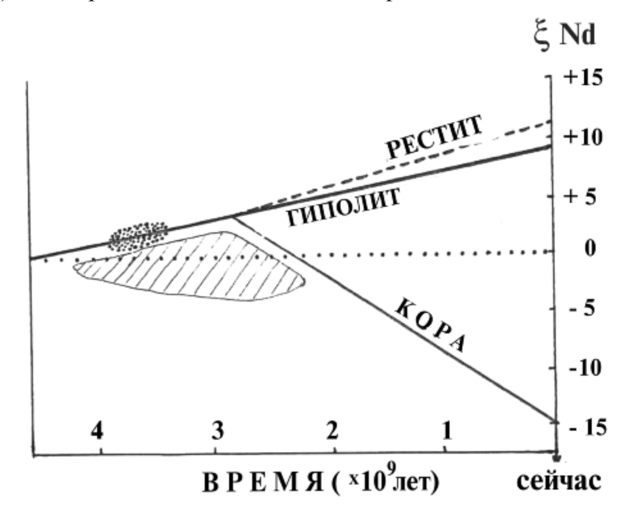


Спрашивается: каким образом этот резервуар так успешно прятался на протяжении почти двух миллиардов лет? Вот уж действительно парадокс! Изучая древнейшие образования планеты, геохи-

мики постоянно получали и получают плюсовые значения величины ξNd (см. овал, покрытый крапом на диаграмме) и уже потеряли всякую надежду обнаружить отрицательные значения, комплементарные плюсовым. По науке, эти «отрицательные» обязаны быть под линией первичной мантии, там, где на ***рис. 42а*** изображены вопросительные знаки, но таковых значений в природе нет. Представляется также загадочным отсутствие нулевых значений ξNd, соответствующих первичной мантии, она ведь первичная, и от нее должны происходить все остальные резервуары, но среди древнейших формаций ее почему-то тоже нет (нет ее производных).

Рис. 42б.

Эволюция изотопов неодима в рамках нашей модели, в которой отношение Sm/Nd несколько выше, чем в метеоритах (CHUR). Здесь кора и обедненная мантия (рестит) появились одновременно. Овал с крапом – положение древнейших образований планеты на линии развития гиполита (первичной силикатной мантии). Заштрихованная область – «запретная зона» для значений ξNd.

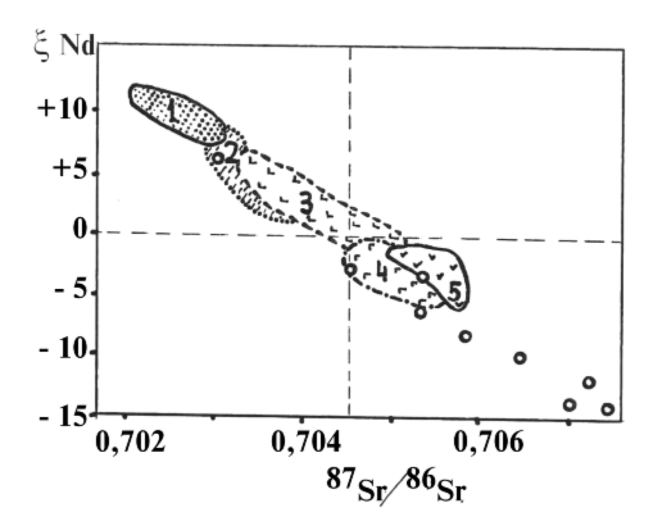


В рамках нашей концепции из-за большей величины исходного Sm/Nd отношения на Земле, в настоящее время в гиполите (в первичной мантии) величина ξNd = +9 (***рис. 42б***). Положительные значения ξNd в древнейших образованиях планеты точно ложатся на гиполит, т.е. на первичную (в нашем понимании) мантию, и при этом не должно быть ни нулевых, ни отрицательных значений ξNd среди древнейших образований, поскольку в то время формирующийся гиполит был единственным резервуаром. Таким об-

разом, нам ничего и никуда не надо прятать. Кора образовалась в свое нижнепротерозойское время, и тогда же появился «обедненный» мантийный рестит.

Рис. 43.

«Мантийный порядок» – обратная корреляция величин изотопных отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ и $^{143}Nd/^{144}Nd$ в мантийных образованиях. 1 — базальты срединно-океанических хребтов («MORB»); 2 — базальты океанических островов; 3 — траппы Северной Америки; 4 — траппы Южной Америки; 5 — щелочные базальты о-ва Кергелен (Индийский океан); кружки – клинопироксены из мантийных нодулей.



В литературе по изотопной геохимии много спекуляций в связи с обратной корреляцией величин изотопных отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ и $^{143}Nd/^{144}Nd$ в мантийных образованиях (***рис. 43***). Это так называемый *«мантийный порядок»* (от английского «mantle array»). В рамках традиционных представлений это явление связывается либо с ассимиляцией вещества древней коры, которая имеет низкие неодимовые отношения и высокие стронциевые, либо с существованием двух мантийных резервуаров – обогащенного и обедненного. И то, и другое не противоречит нашим построениям.

Вместе с тем обращает на себя внимание явная связь мантийного порядка с глубинностью магмагенерации, которая закономерно нарастает от базальтов срединно-океанических хребтов к

щелочным базальтам о-ва Кергелен. Эта связь вынуждает искать причину мантийного порядка в селективном плавлении клинопироксена при сохранении граната в остатке, что имеет место при повышении давления. К тому же, мантийные клинопироксены (из глубинных нодулей кимберлитов) ложатся точно на тренд мантийного порядка и его продолжение.

В этом плане весьма показательны результаты расчетов величин ξNd в сосуществующих гранате и клинопироксене в зависимости от глубинности и времени выдержки изотопной системы в закрытом состоянии (***таблица № 6***). Расчеты проведены при нашей оценке изначального отношения в мантии $^{147}Sm/^{144}Nd = 0,2179$, которое обусловливает современное значение ξNd = +9, а также при условии, что в любой гранат-пироксеновой пропорции отношение Sm/Nd в гранате всегда в 2 раза выше, чем в клинопироксене (что в общем-то соответствует действительности).

Расчеты показали, что весь диапазон значений ξNd в мантийных клинопироксенах (от +6,5 до -15) можно получить не только увеличением глубинности (увеличением доли граната в пропорции), но также увеличением времени выдержки минеральных фаз в закрытом состоянии при неизменности минерального состава (например, горизонтальная строка в таблице с пропорцией 50/50). По всей вероятности, в природе работают оба фактора. Какой из них преобладает в том или ином конкретном случае, можно определить по величинам ξNd в сосуществующих гранатах (***см. таблицу 6***). Соответственно, селективное плавление клинопироксена, при сохранении граната в остатке, может обеспечить наблюдаемые значения величин ξNd в базальтах. Но это может быть применимо только к базальтам, расположенным в нижней правой части тренда мантийного порядка, где (согласно нашим расчетам) отрицательные значения ξNd свидетельствуют о глубинном характере магмагенерации и где гранат остается последней устойчивой фазой при плавлении. Согласно экспериментам это происходит при давлении порядка 25 кбар и выше, которое достигается на глубине примерно 80 км (при современной силе тяжести).

Таблица 6.

Значения ξNd
в сосуществующих клинопироксене и гранате.

Фазы, % Cpyx/Gnt	Время выдержки минеральных фаз в закрытом состоянии (лет)					
	0,0	$0{,}25\cdot10^9$	$1{,}0\cdot10^9$	$1{,}5\cdot10^9$	$2{,}0\cdot10^9$	$2{,}5\cdot10^9$
99/1	+9 **+9**				+6,6 **+61,1**	+6,4 **+75,5**
95/5	+9 **+9**	+8,3 **+14,8**			+4,5 **+57,0**	+3,8 **+69,7**
90/10	+9 **+9**	+8,0 **+14,2**	+5,3 **+30,0**		+2,1 **+52,2**	+0,8 **+69,7**
80/20	+9 **+9**		+3,2 **+25,9**	+0,5 **+34,8**	-2,1 **+43,8**	-4,4 **+53,3**
66,6/33,3	+9 **+9**			-2,9 **+27,9**	-6.7 **+34,7**	-10,2 **+41,7**
50/50	+9 **+9**	+6,4 **+10,9**	-1,4 **+16,8**	-6,4 **+21,1**	-11,2 **+25,5**	-15,9 **+30,2**
25/75	+9 **+9**					-22,9 **+17,0**

Примечание: в каждой ячейке верхняя цифра — клинопироксен, нижняя — гранат.

Теперь поговорим относительно верхней левой части мантийного порядка, которая занята океаническими базальтами*.

** На западе Северной Америки широко проявлены базальты неоген-четвертичного возраста. Особенно обильные излияния наблюдаются в штате Айдахо, США. Вместе с тем Восточно-Тихоокеанское поднятие как бы «ныряет» под Северо-Американский континент и вызывает рифтогенное раздробление на обширной территории. По всей видимости, молодые базальты этой области вряд ли следует называть траппами. Скорее всего, они ближе к базальтам срединно-океанических хребтов, но, разумеется, отличаются от последних тем, что имели много возможностей к взаимодействию с веществом континентальной коры.*

Максимальные значения ξNd в океанических базальтах соответствуют современным величинам ξNd в рестите (***см. рис. 42-б***). Вместе с тем для океанических базальтов характерны крайне низкие отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$, что заставляет связывать их происхождение с крайне истощенным мантийным резервуаром.

При обсуждении проблемы образования океанов мы уже упоминали о процессе «силикатизации силицидов», в результате чего верхние части интерметаллических диапиров превращаются в новый силикатный субстрат. Это как бы ремонт и подновление древней литосферы, которая сильно растягивается и даже разрывается при разрастании океанов. Совершенно очевидно, что формирование этого нового силикатного субстрата происходило и происходит на относительно малой глубине и при гораздо меньшей силе тяжести (в связи с расширением планеты), т.е. при гораздо меньших давлениях в сопоставлении с условиями формирования древней литосферы в архее. И если в древней литосфере преобладающим минералом был высокобарический гранат, содержащий в виде твердых растворов миналы других минералов и способный вмещать большое количество примесей редких и рассеянных элементов, то при образовании нового силикатного субстрата формируется преимущественно плагиоклаз-пироксен-оливиновая минеральная ассоциация, которая, по сути дела, является стерильной в отношении примесей. Эта стерильность особенно контрастно выглядит в сопоставлении с интерметаллическими соединениями и сплавами, у которых нет ограничений на содержание разнообразных примесей, тогда как у нового силикатного субстрата эти ограничения обусловлены строгой стехиометрией его минеральных фаз, имеющих к тому же весьма малую изоморфную емкость кристаллических решеток.

Итак, при трансформации силицидов в силикаты в условиях малых глубин, должен происходить вынос избыточных химических элементов, как петрогенных (оказавшихся в сверхстехиометрических количествах), так и многих редких и рассеянных, по причине малой изоморфной емкости кристаллических решеток плагиоклаза, пироксенов и оливина. Таким образом, новый мантийный резервуар уже в процессе своего

появления оказывается крайне истощенным и молодым (по времени выдержки изотопных систем в закрытом состоянии). Его появление связано с акселерацией расширения Земли, что предопределило заложение и разрастание океанов. В прошлом, в палеозое и глубже, такого резервуара (по качеству и количеству) быть не могло, и по этой причине в том же прошлом не должно было быть больших объемов толеитов, т.е. океанических базальтов со свойственными им петрохимическими и геохимическими особенностями.

На ***рис. 44*** показано современное положение гиполита, коры и рестита в координатах Rb/Sr против $^{87}Sr/^{86}Sr$. Такой способ изображения позволяет определять время обособления резервуара. Общая тенденция океанических базальтов к образованию горизонтального тренда свидетельствует о происхождении их мантийного резервуара в новейшее время, а характер расположения конкретных объектов говорит о катастрофической потере и рубидия, и радиогенного стронция при образовании этого резервуара.

В данной связи обращает на себя внимание необычный характер эволюции отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в воде мирового океана (***рис. 45***). Необычность заключается в том, что с верхнеюрского времени в океаническую воду стал поступать радиогенный стронций в больших количествах. Если в палеозое и нижнем мезозое изотопное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в гидросфере все время уменьшалось и 150 млн лет назад упало до значений, близких реститу (того времени), то в дальнейшем оно стало энергично прирастать и в настоящий момент достигло величины 0,7092.

В верхнем мезозое и кайнозое происходило энергичное разрастание океанов с их толеитовыми базальтами, которые имеют крайне низкую изотопную метку по стронцию. Взаимодействие гидросферы с этими базальтами могло лишь понижать величину $^{87}Sr/^{86}Sr$ в морской воде, но она возрастала. Можно было бы предположить, что в это время активизировался снос радиогенного стронция с континентов. Однако такое допущение выглядит весьма сомнительным на фоне великой меловой трансгрессии, когда преобладающая часть континентальной суши была покрыта мелководными морями и поэтому не подвергалась эрозии.

Рис. 44.

Положение земных объектов в координатах современных отношений Rb/Sr против $^{87}Sr/^{86}Sr$. Такое представление данных позволяет определять время появления обособленного резервуара (по наклону изохроны, на которую попадают его производные). На «геохроне» должны располагаться объекты, в которых Rb/Sr система не претерпела нарушений за всю историю Земли, к примеру гиполит. Изохрона с возрастом 2,5 миллиарда лет отражает время формирования комплементарных резервуаров коры и рестита по гиполиту. Овал – базальты срединно-океанических хребтов («MORB»); черные точки – базальты океанических островов. Общая тенденция океанических базальтов к образованию горизонтального тренда и его положение свидетельствуют о резком нарушении Rb/Sr системы под океанами в современный этап развития планеты в связи с катастрофической потерей как рубидия, так и радиогенного стронция.

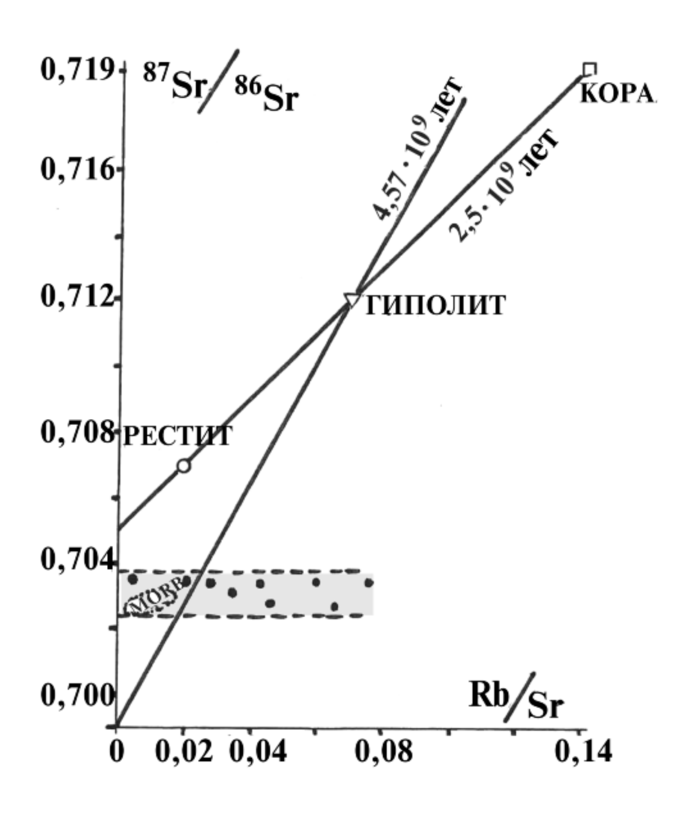
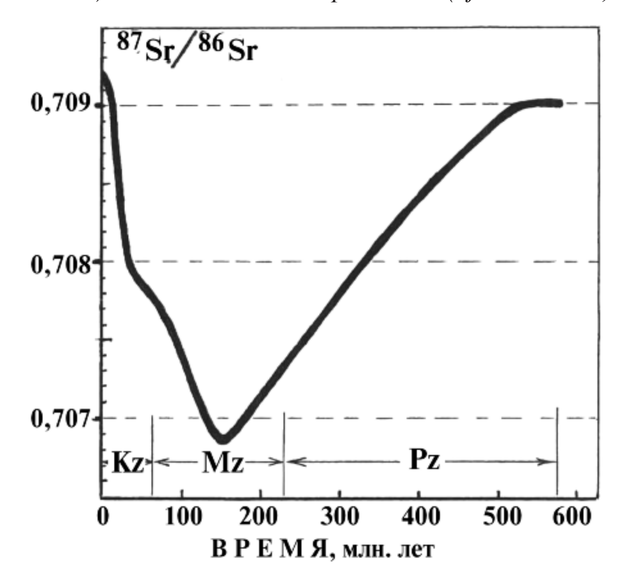


Рис. 45.

Вариации отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в морской воде с палеозоя до наших дней. Кривая построена в результате обобщения более тысячи определений (after Faure G., 1989).



Геохимики обратили внимание на это загадочное явление, и проведенные ими исследования показали, что ни снос с континентов, ни гидротермальная деятельность в океанах не способны обеспечить наблюдаемый рост отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в океанической воде и что в океане должен быть еще источник радиогенного стронция, доселе неизвестный. В рамках наших построений данный источник связан с трансформацией силицидов в силикаты в условиях малых глубин, и этот процесс идет прежде всего под срединно-океаническими хребтами, где интерметаллические силициды приближены к поверхности планеты и подвергаются силикатизации. Следует отметить, что в интерметаллических силицидах (т.е. в металлосфере) отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ должно быть на уровне 0,712 в настоящее время, что соответствует среднему для планеты.

В осадках океанов отмечаются резко повышенные содержания многих элементов (K, U, Th, Zr, Hf, TR...), которыми обеднены океанические базальты. Весьма показательны карты распределения этих элементов в донных осадках, особенно тех, которые не образуют хорошо растворимых соединений и по-

этому не могут разноситься на сверхдальние расстояния. К примеру, лантан, гафний, цирконий, иттрий своими концентрационными аномалиями в донных осадках явно указывают на то, что их источник находится в пределах срединного хребта. Следовательно, там должен быть резервуар, обогащенный этими «редкостями». Но срединно-океанические хребты продуцируют и базальты *«MORB»* (*M*edian *O*cean *R*idge *B*asalts), источником которых может быть только крайне обедненный резервуар. Легко видеть, что в рамках традиционных представлений данная ситуация представляется парадоксальной. В свете наших построений океанические осадки обязаны нести резко повышенные концентрации литофильных редких и рассеянных элементов, поскольку трансформация интерметаллических силицидов в силикаты в условиях малых глубин сопровождается выносом многих «лишних элементов». И совершенно закономерно, что последующее плавление этой вновь образованной силикатной оторочки (образованной на головных частях диапиров и представленной плагиоклаз-пироксен-оливиновой минеральной ассоциацией) приводит к появлению базальтов *«MORB»*.

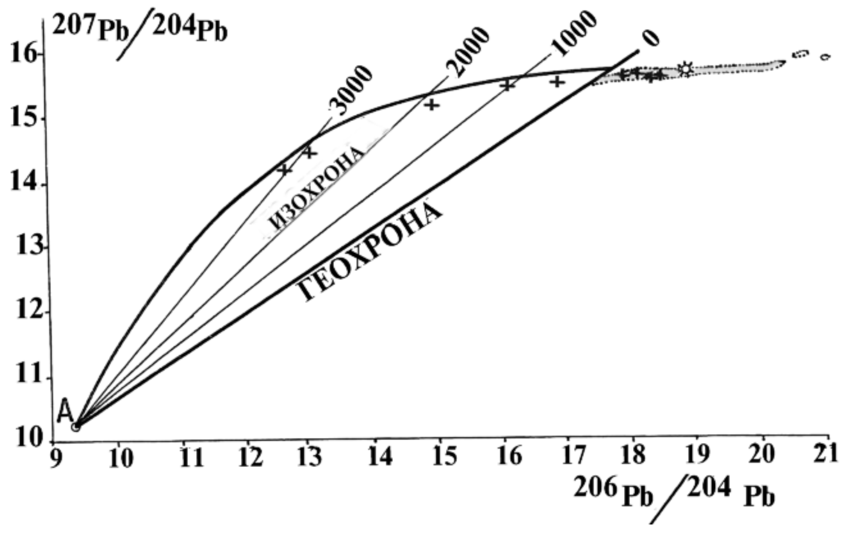
В разделе 8.6 (*«Рудное вещество океана»*) было показано, что срединно-океанические хребты и, особенно, их осевые зоны являются источником громадных количеств железа и марганца, накопленных в океанических осадках. Эти элементы (и сопутствующие Ni, Co, Mo, Pb, Zn, Cu, а иногда Ag и Au) мы тогда образно назвали «строительным мусором», вынесенным из зон «ремонта и подновления» древней литосферы, сильно утоненной при образовании океанов и кое-где даже порванной. Суть ремонта – трансформация интерметаллических силицидов в силикаты, и эта суть согласуется с нашей систематикой изотопной геохимии.

На ***рисунке 46а*** отражены бытующие представления об уран-свинцовой изотопной системе. В этих рамках положение океанических базальтов справа от геохроны свидетельствует, что они происходят из обогащенного мантийного источника. Вместе с тем, почему-то отсутствуют базальты из обедненного резервуара, которые непременно должны быть и располагаться слева от геохроны на этой же вторичной изохроне. Это явление геохимики назвали *«свинцовым парадоксом»*, но они не могут объяснить эту загадку в свете традиционно сложившихся представлений (о хондритовой мантии). С другой стороны, если океанические базаль-

ты по *U-Pb* системе являются производными обогащенного резервуара, то почему в рамках *Rb-Sr* и *Sm-Nd* систем они происходят из крайне обедненного мантийного источника? Эта противоречивость вызывает подозрение в правомерности исходных посылок в изотопной геохимии, о чем мы говорили в начале данной главы.

Рис. 46-а.

Изотопы свинца в некоторых земных образованиях в свете бытующих представлений о «хондритовой мантии». Поле с серой заливкой – океанические базальты (оконтурено точечным пунктиром). Крестики – галениты стратиформных месторождений и рудопроявлений. Кружок с лучиками – современные глубоководные осадки океана. Кривая согласованного накопления проведена при μ = 8,32. Отсутствие базальтов слева от геохроны вошло в литературу под термином «свинцовый парадокс».



В свете магнитной сепарации элементов изначально на Земле урана было на порядок больше, чем в поясе астероидов, тогда как содержание свинца и там и здесь было примерно одинаковым (***см. рис. 4***). Начальная точка *«кривой согласованного накопления»* (точка ***А*** *– первозданный свинец*) определена по троилитовой фазе метеоритов. И эту точку мы принимаем в качестве «стартовой» для Земли, поскольку принимаем ***«Второе»*** исходное положение изотопной геохимии (см. начало раздела).

Вместе с тем следует вспомнить, что помимо изотопов ^{235}U и ^{238}U существует еще один изотоп урана – ^{234}U, с периодом полурас-

пада = $2,44 \times 10^5$ лет. В настоящее время этот короткоживущий изотоп встречается лишь постольку, поскольку он присутствует среди прочих радионуклидов в ряду распада долгоживущего ^{238}U. Однако, согласно *«правилу Оддо-Гаркинса»*, можно утверждать, что в процессе нуклеосинтеза (взрыва Сверхновой, который определил исходный элементный состав Солнечной системы) урана-234 было синтезировано никак не меньше, чем урана-238. Спустя несколько миллионов лет после нуклеосинтеза этот ^{234}U практически полностью распался, уже через 2,44 миллиона лет его содержание уменьшилось в 1000 раз. Здесь важно определить: сколько времени прошло от момента нуклеосинтеза до того этапа, когда магнитная сепарация определила состав протовещества в зоне формирования Земли, т.е. до этапа формирования протопланетного диска, который (как мы помним) был весьма кратким.

Вопрос этот представляется принципиально важным, поскольку ^{234}U при распаде (так же как и ^{238}U) превращается в ^{206}Pb. И если это время было порядка одного миллиона лет, то ^{234}U в существенных количествах мог войти в протовещество Земли (при этом в метеоритах его должно быть на порядок меньше).

Расчет времени от начала гравитационного стягивания межзвездной диффузной материи к своему центру тяжести и до момента вступления небулы в режим ротационной неустойчивости, когда, собственно, и произошел сброс протопланетного диска, – это одна из самых любимых задач астрофизиков. Считали многие и по-разному, но результат оказывался сходным: время гравитационного стягивания не должно превышать 10^6 лет. Если верить данному сроку, то на Земле вклад от распада ^{234}U в долю радиогенного свинца ^{206}Pb составил 11,5% от доли свинца, образовавшегося при распаде долгоживущего ^{238}U (при условии, что изотопы ^{234}U и ^{238}U были образованы в равных количествах при нуклеосинтезе).

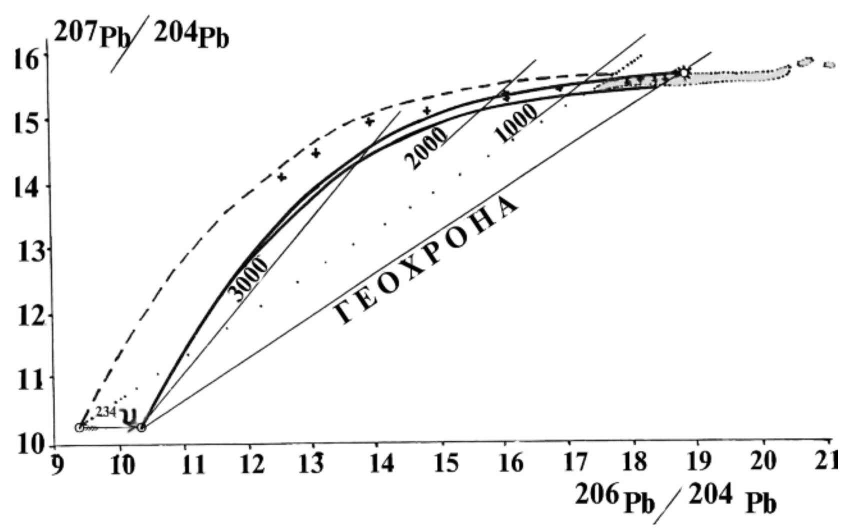
В свете сказанного эволюция изотопов свинца в земном веществе пойдет совсем не так, как изображено на ***рис. 46-а***. За счет быстрого накопления ^{206}Pb от распада короткоживущего ^{234}U должен был совершиться очень быстрый (в сопоставлении с возрастом планеты) *«перескок»* вправо от начальной «точки ***А***», практически по горизонтали. И лишь после этого быстрого вклада ^{206}Pb (в объеме 11,5%) эволюция свинца на Земле пошла по кривой согласованного накопления, как показано на ***рисунке 46-б.*** В поясе астероидов этот «быстрый вклад свинца-206» был на порядок меньше.

Рис. 46-б.

Изотопы свинца в рамках нашей модели.

Отличительный момент – горизонтальный отрезок в линии развития изотопов (вправо от исходной точки «А») за счет быстрого накопления свинца-206 от распада короткоживущего урана-234. В результате кривые согласованного накопления изотопов свинца от распада ^{235}U и ^{238}U получают новый старт (проведены две кривые при μ = 8 и μ = 8,32). Геохрона, исходящая из новой стартовой точки, пересекает поле океанических базальтов примерно посередине и «свинцовый парадокс» исчезает. Современные глубоководные осадки океана попадают точно на геохрону (кружок с лучиками).

Положение на диаграмме стратиформных галенитов (крестики) позволяет считать, что в архее на поверхности планеты ощущалось присутствие метеоритного свинца с его изотопной меткой, которая была полностью «стерта» в нижнем протерозое в процессе формирования континентальной коры.



Геохрона Земли, проведенная в рамках наших построений, рассекает поле океанических базальтов примерно посередине. Совершенно очевидно, что при таком «секущем» положении геохроны автоматически исчезает *«свинцовый парадокс»*, поскольку появляется обедненный резервуар, комплементарный обогащенному. Приятно также видеть, что современные глубоководные осадки океана легли точно на нашу геохрону.

Однако есть ли необходимость проводить вторичную изохрону для того, чтобы объяснить линейный (якобы) характер поля океанических базальтов и выход его за геохрону, т.е. нужно ли предпо-

лагать дифференциацию подокеанической мантии где-то в интервале 1,5–2 миллиарда лет назад на два разобщенных резервуара с меньшим и большим отношением U/Pb против исходного? Мы полагаем, что можно обойтись без этого и объяснить положение океанических базальтов в рамках *«одностадийной модели»* развития уран-свинцовой модели.

Среди силикатов и окислов есть много минералов концентраторов урана (циркон, перовскит, сфен, ортит и др.), в которых исходное отношение U/Pb может достигать трех и даже четырех порядков. В настоящее время мы не знаем всего набора возможных интерметаллических соединений в металлосфере, но наверняка в ней также присутствуют фазы, концентрирующие уран. Соответственно со временем в этих фазах (концентраторах урана) отношение радиогенных изотопов к нерадиогенному свинцу будет гораздо выше среднего вмещающей среды (металлосферы). К тому же радиогенный свинец, появляющийся в урансодержащей фазе, оказывается «не в своей тарелке», в «изоморфно-чуждой» обстановке. Поэтому при подъеме температуры и повышении активности флюида происходит экстракция, прежде всего радиогенного свинца, тогда как нерадиогенный свинец может спокойно «пережидать невзгоды» в гостеприимной фазе-хозяйке, где он удобно расположился в «изоморфно-родственной» обстановке. При образовании океанических структур эти урансодержащие фазы могли быть вынесены к поверхности планеты с клиньями интерметаллических диапиров, которые, как было уже показано выше, внедряются холодными*.

** Следует помнить, что температурный режим планеты, в рамках наших построений, совершенно иной. Прежде всего, жидкое состояние внешнего ядра, в нашем понимании, не от высокой температуры, а от присутствия водорода, растворенного в металлах. К тому же расширение Земли, идущее в мегабарном диапазоне давлений, чрезвычайно мощный охлаждающий фактор глубин. Периодическое повышение температуры в ядре планеты сопровождается дегазацией водорода-теплоносителя, но эта дегазация канализована, и, соответственно, вынос тепла из недр планеты уже давно идет по сравнительно узким каналам. Разумеется, эти каналы прогреваются теплоносителем, и этот прогрев должен был бы распространяться в окружающую металлосферу, у которой высокая теплопроводность. Но если в окружающей металлосфере содержится хотя бы небольшое количество растворенного водорода (слой **D"**, например), то этот водород будет втягиваться в канал, таким образом, создается движение теплоносителя в*

противоположном направлении, в сторону канала. Расчеты показывают, что этот «противоток» теплоносителя не позволяет теплу распространяться за пределы канала. В данной связи наше предположение о возможности существования в металлосфере урансодержащих фаз в закрытом состоянии не представляется абсурдным.

В разделе 8.3 (*«Модель образования океана»*) мы красочно расписали, как верхняя часть интерметаллического диапира приобретает силикатную оторочку, которая при контакте силицидов с водой плавится (образуется «шляпа» силикатного расплава), и является источником базальтов в пределах рифтовых долин срединно-океанических хребтов. В этом расплаве, разумеется, происходит гомогенизация изотопов свинца, и такой расплав должен находиться точно на геохроне. Однако ниже, под расплавной шляпой, какой-то объем интерметаллических силицидов (во много раз превышающий объем расплава) прогревается, в результате чего урансодержащие фазы раскрываются и сбрасывают накопленный в них радиогенный свинец. Шляпа силикатного расплава может обогащаться этим радиогенным свинцом, и, таким образом, базальты оказываются справа от геохроны (как бы из обогащенного по урану источника). В дальнейшем, при следующем импульсе расширения, экстракция изотопов свинца будет происходить из того объема силицидов, который уже потерял какую-то долю радиогенного свинца. В результате базальты окажутся слева от геохроны, якобы из обедненного источника. Все это может повторяться многократно при внедрении очередных (свежих) клиньев интерметаллических диапиров в осевую часть срединно-океанических хребтов.

В разделе 9.4 мы связали *происхождение «горячих точек»* и базальтоидный вулканизм океанических островов с внедрением в литосферу струй горячего водорода (идущего от ядра) и силанов, которые вызывают магмагенерацию. Помимо водорода в этом флюиде должны присутствовать углерод, сера, фосфор, азот, хлор, фтор и др. элементы в виде разнообразных соединений. Безусловно, такой флюид вкупе с высокой температурой способен экстрагировать по пути следования все, «что плохо лежит», в том числе и радиогенный свинец, который в урансодержащих фазах находится в изоморфно-чуждой обстановке*.

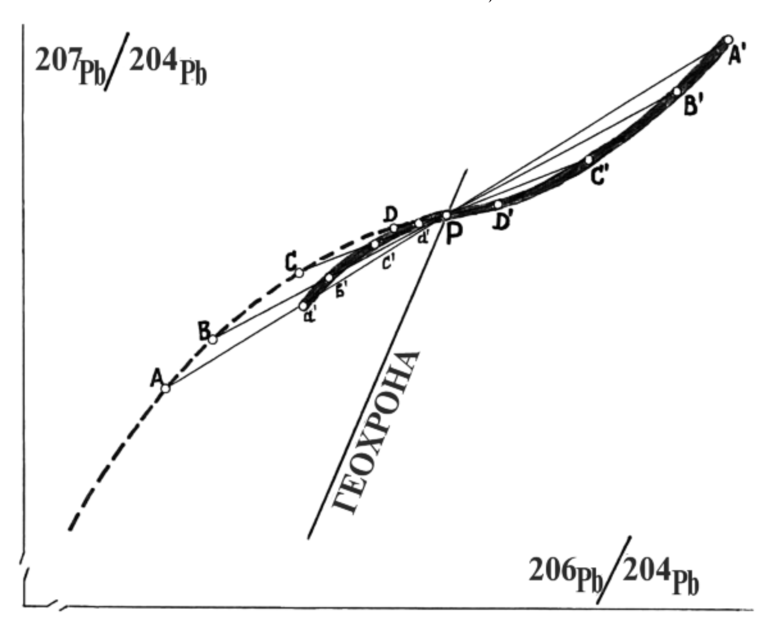
** Экспериментально было неоднократно показано, что при обработке породы кислотами или горячим флюидом (разнообразного состава) в вытяжке оказывается, как правило, более радиогенный свинец в сопоставлении с исходным изотопным составом свинца в породе.*

Объемы, промываемые этим флюидом в металлосфере, многократно превышают объем результирующей магматической выплавки. По этой причине на «свинец-свинцовой» диаграмме ***(рис. 46б)*** базальты океанических островов могут далеко уходить вправо от геохроны. Вместе с тем если магмагенерация длительно продолжается в одном и том же месте, то последующие выплавки будут продуцироваться флюидом, идущим по уже «промытым» объемам, из которых радиогенный свинец в какой-то мере был уже экстрагирован ранее. В результате базальты окажутся слева от геохроны.

Теперь обратимся к диаграмме на ***рис. 47***, на котором изображение растянуто по вертикальной оси в несколько раз. Здесь пунктиром показана линия согласованного накопления, на которой точками (*A*-*B*-*C*-*D*) обозначено время закрытия урансодержащих фаз в различных объемах мантии. В точке ***P*** (present – современное геологическое время) эти фазы раскрываются и сбрасывают радиогенный свинец в магматические выплавки по описанным выше сценариям. И если наши построения правомерны, то поле океанических базальтов на «свинец-свинцовой» диаграмме должно иметь форму перевернутой буквы ***«S»***. Таким образом, если традиционно принято считать, что наклон тренда океанических базальтов отражает некое активное событие в недрах планеты 1,5 миллиарда лет назад, сопровождавшееся повышением температуры и приведшее к разделению мантии на два резервуара, то наш подход свидетельствует об обратном. По нашей версии, тренд океанических базальтов не может быть аппроксимирован прямой линией, как того требует вторичная изохрона. Он должен иметь изогнутую форму, и такое положение базальтов на «свинец-свинцовой» диаграмме обусловлено тем, что в различных объемах металлосферы урансодержащие фазы закрывались (в отношении изотопного обмена) в различное время, что происходило отнюдь не в связи с разогревом, а охлаждением.

Рис. 47.

Диаграмма, демонстрирующая возможность выхода океанических базальтов за геохрону в рамках одностадийной модели развития уран-свинцовой системы.
Точки A,B,C,D на кривой согласованного накопления отражают время закрытия урансодержащих фаз. P – современная эпоха, когда произошло раскрытие фаз в отношении изотопного обмена. A',B',C',D' – положение выплавок, обогащенных радиогенным свинцом. Прописные буквы (abcd) показывают изотопные составы свинца в обедненных объемах.



Итак, судя по базальтам, U-Pb изотопная система в пределах океанов развивалась в рамках одностадийной модели вплоть до новейшего этапа эволюции планеты. Т.е. то, что мы сейчас наблюдаем во внутренних частях океанов, никогда раньше, в более ранние эпохи, не проявлялось в таких же масштабах, и глубинные зоны, расположенные под океанами, никогда ранее не принимали участия в магмагенерации. Процесс формирования резервуара *«MORB»* приобрел глобальное значение, по всей видимости, с юрского времени, когда в гидросферу стал поступать в больших количествах радиогенный ^{87}Sr (***см. рис. 45***).

Теперь можно перечислить те резервуары, которые четко выделяются при нашем подходе к проблемам изотопной геохимии и которые могут быть источником магматических расплавов:

1. Прежде всего, это древний гиполит как первичная мантия.

2–3. Континентальная кора и рестит, появившиеся в своем преобладающем объеме в нижнем протерозое.

4. Молодой резервуар *«MORB»* мезо-кайнозойского возраста.

5. Дополнительно мы предполагаем, что в балансе изотопов свинца в магматических выплавках могут участвовать интерметаллические силициды металлосферы (содержащие фазы, обогащенные ураном). Глубинный водородный флюид (горячий, идущий от ядра), по пути следования через металлосферу, может обогащаться не только радиогенным свинцом, но также многими другими элементами. Никаких иных резервуаров, имеющих глобальную значимость, в рамках наших представлений быть не может.

Наше понимание изотопной геохимии позволяет определять (вычислять) некоторые параметры, которые прежде возможно было получить только эмпирическим путем. К примеру, мы можем рассчитать, каким должен быть изотопный состав гелия в современной Земле. Для этого сначала нужно обсудить проблему изначального отношения $^3He/^4He$ в Солнечной системе.

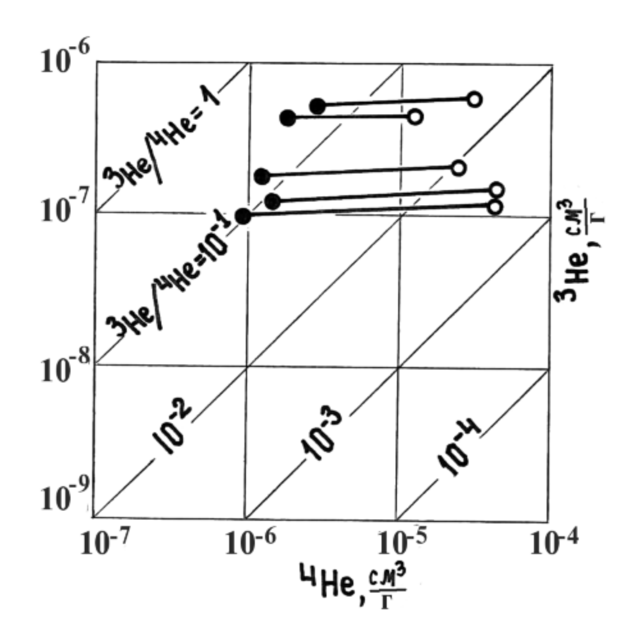
В железокаменных метеоритах, в одном и том же образце, отношение $^3He/^4He$ в силикатной фазе, как правило, ниже (примерно на 1,5 порядка), чем в металлической (***рис. 48***). Вместе с тем в металлической фазе практически нет урана и тория, тогда как в силикатной фазе они есть. По константам распада мы легко определяем, сколько их было изначально, и соответственно определяем количество радиогенного ^4He, выделившегося за 4,5 миллиарда лет. Расчеты показывают, если мы уберем радиогенный ^4He из силикатной фазы, то отношения $^3He/^4He$ в ней и железной фазе окажутся очень близкими или даже идентичными. На этом основании мы полагаем, что в железных метеоритах (в которых практически нет урана и тория) зафиксирован изначальный изотопный состав гелия Солнечной системы и его можно определить величиной $^3He/^4He \approx 10^{-1}$.

Теперь покажем путь расчета современного отношения $^3He/^4He$ на Земле:

1. Определяем исходное содержание гелия в Протосолнце. В современном Солнце установлено $5 \cdot 10^9$ атомов He/(на 10^6 атомов. Si). Согласно оценкам астрофизиков в Протосолнце содержание гелия было немногим меньше, порядка $1 \cdot 10^9$ ат. He/(на 10^6 ат. Si).

Рис. 48.

Содержание изотопов гелия в железной (черные точки) и силикатной (светлые кружки) фазах железокаменных метеоритов. Выбраны образцы с одинаковым содержанием первозданного гелия—3 в обеих фазах, это указывает на удержание газов в образцах с момента их образования.



2. Проводим тренд на ***рис. 3*** и согласно потенциалу ионизации гелия (23,58 В) определяем его коэффициент недостачи на Земле $\boldsymbol{F} = 5 \cdot 10^{-13}$ (к сожалению, это мы можем сделать только с точностью «± порядок»).

3. По формуле: $He_{Земля} = He_{Солнце} \cdot \boldsymbol{F}$ определяем исходную концентрацию гелия на Земле порядка $5 \cdot 10^{-4}$ ат. He/(на 10^6 ат. Si).

4. Изначальный изотопный состав гелия в Солнечной системе определяем по изотопному составу гелия в железных метеоритах: $^3He/^4He = 10^{-1}$.

5. Исходя из современной концентрации урана на Земле 10^{-1} ат. U/(на 10^6 ат. Si), ***это на порядок больше, чем в метеоритах***, и принимая современные отношения $^{238}U/^{235}U = 137{,}88$ и Th/U = 3, определяем количество радиогенного гелия ^4He, выделившееся от распада урана и тория за 4,57 миллиарда лет.

Итак, мы определили исходное содержание гелия на Земле и его изначальный изотопный состав ($^3He/^4He = 10^{-1}$). Добавка радиогенного изотопа ^4He от распада урана и тория, при нашей оценке содержания этих элементов, дает современное отношение $^3He/^4He = 2,7 \cdot 10^{-5}$. Эта цифра удивительным образом совпадает с максимальными значениями отношения $^3He/^4He$ в базальтах океанических островов. Однако при нашей точности определения исходных параметров к этому совпадению (до знака после запятой) не следует относиться серьезно, нас вполне устраивает порядок величины (10^{-5}). Согласитесь, если вы в расчетах используете значения, различающиеся на 21 порядок, и в результате получаете искомый порядок величины, то это уже вряд ли случайность, очень уж мала вероятность столь точного попадания по воле случая.

Таким образом, принятое нами содержание урана на Земле (на порядок большее, чем в метеоритах) согласуется с изотопным составом современного глубинного гелия. И еще, при таком содержании урана должно быть принято и расширение Земли, поскольку из-за масштабов генерации радиоактивного тепла планета с постоянным объемом была бы не в состоянии избежать полного плавления.

Наконец, отметим, что эволюция отношения $^3He/^4He$ в теле Земли от 10^{-1} до 10^{-5} разрешает присутствие древних минеральных фаз в недрах планеты с гелиевым изотопным отношением порядка 10^{-4} и даже 10^{-3}. И если такие фазы будут обнаружены, то для них не надо придумывать внеземное происхождение. Помнится, я уже видел публикацию про алмазы с таким «аномальным» гелием. В рамках бытующих представлений автор этой публикации был вынужден предположить, что алмазы произошли где-то в космосе за пределами Земли, и потом долго и мужественно фантазировал относительно того, как они попали в кимберлитовую трубку.

Следует отметить, что если алмазы с отношением $^3He/^4He$ порядка 10^{-3} действительно существуют, то они могли быть образованы только в начальные 50 миллионов лет существования планеты (так показывают расчеты эволюции изотопного отношения гелия во времени). Однако в то время еще не было литосферы и планета (изначально холодная) только согревалась. Протопланетный конденсат во внешней зоне превращался в интерметаллические соединения, в которых углерод мог присутствовать в виде твердого раствора. С началом «водородной продувки» этот углерод должен был выделиться в виде самостоятельной фазы – алмаза. Возможность этого была показана нами экспериментально (см. раздел

6.2). В дальнейшем эти алмазы могли сохраниться при образовании литосферы (в условиях высоких давлений и водородного флюида, что способствует сохранению алмаза). И теперь мы их находим в минеральной ассоциации пироповых эклогитов (гранатовых пироксенитов), которые встречаются среди глубинных ксенолитов в кимберлитах*.

** Я ни в коем случае не утверждаю, что все земные алмазы имеют такое происхождение. Скорее всего, таких (древних с «аномальным» гелием) мало. По всей видимости, преобладающая часть алмазов генерируется в самом процессе образования кимберлитов (а также лампроитов и прочих мантийных дериватов). В данной связи следует вспомнить про силаны, которые способны восстанавливать углерод из карбонатов:* $CaCO_3 + Si_nH_m = CaSiO_3 + C + H_2$. *Эта реакция вполне может протекать при «алмазных давлениях». Постоянное присутствие в кимберлитах водорода и самородных металлов позволяет предполагать, что само образование кимберлитов было спровоцировано внедрением в литосферу силановых струй из металлосферы.*

Видимо, следует еще раз напомнить, что по нашей модели образования океанов интерметаллические диапиры формируются в слое ***D"***, в котором присутствует какая-то доля «остаточного водорода» (что уже обсуждалось где-то выше). После внедрения диапиров этот водород дегазируется. При этом он также собирается в струи, и, разумеется, они получаются малого размера, малой мощности, и, кроме того, у них совершенно иная температура, поскольку сами диапиры внедряются холодными. Эти струи не следует путать с потоками горячего водорода, идущего от ядра и образующего тектоногены.

14. ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ КАК ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

На семинарах или конференциях среди сторонников традиционной точки зрения (ядро – железное, остальное – силикатное) я неоднократно затевал коварную игру «в вопросы и ответы», которая приводила к неразрешимому парадоксу.

Сначала я обращался с вопросом к тектонистам, в каком направлении, с их точки зрения, развивается наша планета: в сторону все большей структурной упорядоченности или в сторону деструкции и хаоса? Тектонисты отвечали уверенно: *развитие идет в сторону все большей структурной упорядоченности* (раньше ядра не было, а потом оно появилось, раньше коры не было, а теперь она есть и т.д.).

Затем я обращался к специалистам, которые любят перебирать все возможные комбинации метеоритного вещества (с разным содержанием урана, тория, калия), с тем чтобы получить генерацию тепла, соответствующую суммарному тепловому потоку Земли. Вопрос в следующем: как, по их мнению, ведет себя температура планеты в целом? Специалисты единодушно отвечали, что по всем вариантам хондритовой модели, за счет генерации радиогенного тепла, Земля должна испытывать разогрев и, соответственно, *температура ее недр должна понемногу увеличиваться*. Тектонисты согласно кивали: «да-да, по всей вероятности, именно так, поскольку растет контрастность тектонических движений и объемы магматизма вроде бы нарастают от древних циклов к молодым».

После этого я спрашивал: можно ли принять в качестве термодинамической системы планету в целом, включая ее гидросферу и атмосферу? Люди, осведомленные в вопросах термодинамики, отвечали: можно, без всякого сомнения. Вдогонку я задавал дополнительный вопрос: а если обмен веществом с окружающим пространством у этой системы за миллиарды лет не превысил 0,001% от ее массы, то какой – «открытой» или ***«закрытой»*** будет такая система? Знатоки термодинамики, принимая во внимание, что столь малое изменение массы не может сколь-либо существенно сказаться на параметрах системы, признавали такую систему «закры-

той». И надо сказать, признавали неохотно, поскольку уже понимали, что попались в расставленный капкан*.

** Термодинамические системы в зависимости от их взаимодействия с окружающей средой классифицируются на 3 типа: изолированные, закрытые и открытые.*

Тип системы	***Обмен веществом***	***Обмен энергией***
Изолированная	*нет*	*нет*
Закрытая	*нет*	*да*
Открытая	*да*	*да*

Земля, безусловно, обменивается энергией с окружающей средой, однако в рамках традиционных представлений обмен веществом пренебрежимо мал и не влияет на параметры планеты как термодинамической системы. По этой причине Землю с железным ядром и силикатной мантией следует считать закрытой системой.

Суть в том, что в закрытой системе с увеличением температуры непременно должна увеличиваться энтропия. Но на фоне увеличения энтропии невозможно созидательное развитие системы в сторону все большей структурной упорядоченности. Наоборот, там, где энтропия растет, должны все более доминировать разрушение и хаос (или, если хотите, гомогенизация). Что же получается: либо Земля развивается вопреки законам термодинамики, либо наши представления об устройстве «нашей колыбели» далеки от действительности. И когда я спрашивал участников этой игры: какое «либо» они предпочитают, то получал «уклончивый ответ», как правило, немного не по теме, но с настоятельными рекомендациями пойти (сами знаете куда) со своими дурацкими вопросами.

Следует помнить, что энтропия является *«экстенсивным параметром»*, она складывается и вычитается, как масса или объем (т.е. обладает свойством *«аддитивности»*). И чтобы энтропия системы уменьшалась (при нахождении температуры на определенном уровне или даже при некотором ее росте), нужно, чтобы эта система была открытой и широко обменивалась с окружающим пространством не только энергией, но и веществом. Тогда вещество, уходящее из системы, будет уносить долю массы и принадлежащую этой массе энтропию. В результате энтропия открытой системы может уменьшаться. Так устроены живые организмы – мы

потребляем жиры, белки, углеводы, витамины с достаточно сложной структурой и низкой энтропией, а выделяем бесструктурные шлаки, воду, газы с высокой энтропией и за счет этого растем и совершенствуемся.

В рамках наших представлений Земля также является открытой системой. За всю свою историю из-за дегазации водорода она потеряла примерно половину атомов от общего исходного числа, при этом по массе похудела всего лишь на 3%. Водород является прекрасным (и единственным) агентом на роль «похитителя» энтропии у планет земного типа. У него высокая теплоемкость, высокие скорости диффузии в металлах, и он один способен уходить от Земли в окружающее космическое пространство (утекать может также гелий, но его мало).

Таким образом, с точки зрения термодинамики наша модель Земли представляется более предпочтительной. Она разрешает Земле расти, развиваться и совершенствоваться, как это делают живые организмы. Но одновременно она же определяет и причину неизбежной «тектонической смерти» планеты в связи с исчерпанием запасов гидридов и водорода в ее недрах. Об этом мы поговорим несколько ниже.

15. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Люди веками пользовались компасом и, естественно, задумывались о причинах существования магнитного поля планеты. Первоначально считалось, что Земля является постоянным магнитом. Но когда выяснилось, что уже на сравнительно небольшой глубине температура определенно превышает точку Кюри, Землю стали считать электромагнитом. Однако и эта идея не укрепилась, поскольку была непонятна природа электродвижущих сил, способных поддерживать электрические токи в недрах планеты на протяжении всей истории ее существования. В XX веке было предложено много версий, из которых к настоящему времени общепринятой считается гипотеза динамо-эффекта в жидком железном ядре.

Геофизики полагают, что динамо-эффект обусловлен энергичными конвективными движениями в жидком проводящем железе. Считается, что в пользу гипотезы «динамо» свидетельствует *«западный дрейф»* основных структур геомагнитного поля со скоростью 20 км в год, которая на многие порядки выше скоростей тектонических движений твердого вещества Земли. И поскольку главные структурные неоднородности поля имеют глубинное происхождение, а ядро представляется жидким, то исследователи просто были вынуждены сделать именно такой вывод.

Однако эта версия плохо согласуется с представлениями о железном ядре и силикатной мантии. Если предположить тепловую природу конвекции, то непонятен источник тепла в железном ядре. Радиоактивные элементы избегают концентрироваться в железе. Весьма проблематично также предполагать продолжающийся до сих пор рост ядра, сопровождаемый выделением потенциальной энергии. В рамках традиционных представлений скорость опускания тяжелых фрагментов должна была бы регламентироваться вязкостью нижней мантии, а вязкость сильно зависит от температуры. Выделение потенциальной энергии в виде тепла уменьшает вязкость, и такой процесс образования ядра, единожды начавшись, пошел бы с ускорением и должен был быстро завершиться в далеком прошлом.

Существуют и другие предположения с источниками энергии, однако тепловую конвекцию в ядре (в рамках традиционных представлений) трудно согласовать с малой теплопроводностью сили-

катной мантии. Ни одна тепловая машина не имеет КПД = 100%, а конвекция в этом плане весьма неэффективный процесс. Поэтому через силикатную мантию должно отводиться примерно в 20 раз больше тепла в сравнении с тем, что затрачивается в ядре на конвективные движения. И здесь возникает проблема *«холодильника»*, без которого работа тепловой машины невозможна. Разумеется, вы можете раскрутить конвекцию и в мантии, с тем чтобы более эффективно отводить тепло от ядра. Но проблема не только в этом, а еще и в том, что вы не можете превысить суммарный тепловой поток планеты, а вернее, его глубинную составляющую. Согласно тем же традиционным представлениям, большая часть теплового потока генерируется в коре. По этой причине исследователи все больше предпочитают связывать конвекцию в ядре с ротацией планеты, предполагая, что ядро не следует точно за прецессией мантии. Однако при этом необходимо обеспечить сцепление мантии с жидким ядром, для чего приходится «изобретать рельефные конструкции» на нижней поверхности мантии (прямо как в стиральной машине).

Приверженцы гипотезы «динамо» не оставляют попыток смоделировать магнитное поле планеты. В экспериментах в объеме расплавленного металла (к примеру, натрия) все вроде бы воспроизводится – и электропроводность, и конвективное перемешивание, и вращение, но при этом дипольное магнитное поле не получается.

Теперь рассмотрим эту проблему в рамках *«изначально гидридной Земли»*. Во-первых, по нашей модели, внешнее ядро постоянно находится в жидком состоянии не от температуры, а от присутствия растворенного водорода. Во-вторых, диссипация энергии в ядре может в десятки раз превышать тепловой поток, регистрируемый на поверхности (львиную долю забирает расширение планеты и наружу выходит сравнительно мало). По этой причине для нашей модели не возникает проблемы «холодильника». Кроме того, у металлосферы теплопроводность на порядок выше, чем у традиционной силикатной мантии, и к тому же отвод тепла производится исключительно эффективно водородом-теплоносителем.

Более того, наша модель предполагает активное перемещение масс в недрах планеты в радиальных направлениях (то внутрь, то наружу), что непременно должно сопровождаться установлением различных скоростей вращения ядра и мантии, т.е. если считать мантию неподвижной, то ядро относительно нее должно проворачиваться то в одном, то в другом направлении. При дегазации во-

дорода от ядра происходит замедление вращения мантии, и в результате угловая скорость вращения ядра (W_C) оказывается больше, чем у мантии – $W_C > W_M$. С другой стороны, формирование «зон заглатывания», в связи с той же дегазацией, должно вызывать ускорение вращения мантии, приводя к ситуации, когда $W_C < W_M$. На завершающих этапах формирования складчатых поясов орогенез приводит к ситуации $W_C > W_M$, что еще более усложняет динамику. При расширении планеты, согласно расчетам, сначала тормозится ядро и складывается ситуация $W_C < W_M$. Затем, когда в зоны рифтогенеза начинают нагнетаться интерметаллические диапиры, происходит эффективное торможение мантии и соответственно оказывается $W_C > W_M$. К этому следует добавить, что в самом ядре должна быть своя сложная динамика вращения внутренней и внешней сфер. Расчеты показывают, что радиальные перемещения масс в теле планеты способны обеспечить такие различия в скоростях вращения ядра и мантии, которые более чем в 10 раз превышают скорость проворачивания ядра относительно мантии на современном этапе (если об этом судить по современной скорости западного дрейфа магнитного поля).

Таким образом, в рамках нашей модели ядро внутреннее, ядро внешнее и мантия должны вращаться, как правило, с разными угловыми скоростями. При этом ядро относительно мантии периодически должно проворачиваться то в восточном, то в западном направлении. Некоторые из патриархов в области геомагнетизма (к примеру, Т.Рикитаке) мечтали о такой возможности, как о наиболее простом решении проблемы инверсий магнитного поля планеты, и очень сожалели, что это абсолютно невозможно (в рамках традиционной модели Земли с железным ядром и силикатной мантией). Наша модель открывает очень широкие возможности именно в этом плане и оказывается более подходящей для реализации динамо-эффекта не только по динамике этого процесса, но и с энергетической точки зрения.

Вместе с тем существует еще одна принципиально новая возможность решения проблемы магнетизма, вытекающая только из нашей концепции. Вспомним, водород, растворенный в металле, находится в виде раздельно существующих протонов и электронов, т.е. в виде полностью ионизированной плазмы, способной свободно перемещаться во вмещающем ее объеме (из-за подвижности в металлах как электронов, так и протонов). По этой причине инфильтрацию водорода от внутреннего ядра Земли, где про-

исходит диссоциация гидридов, следует рассматривать как истечение плазмы. В условиях вращающейся планеты, когда силы Кориолиса создают спиральную составляющую в плазменных потоках, это может быть причиной появления дипольного магнитного поля.

Помните, мы обсуждали причину появления дипольного магнитного поля в небуле на завершающем этапе ее формирования? В недрах Земли, по всей видимости, получается нечто подобное. Конвективные движения в жидком и проводящем ядре создают внутреннее недипольное магнитное поле – это работа динамо-эффекта. Через силовые линии этого поля, от внутреннего ядра наружу, движется поток водородной плазмы, претерпевающий при этом дифференциацию на отдельные струи, которые под воздействием сил Кориолиса получают спиральную составляющую. Таким образом, складывается нечто подобное структуре соленоида. В силу явления самоиндукции в этом соленоиде (состоящем из витков плазмы) устанавливается электрический ток, обусловленный как перемещением протонов, так и встречным движением электронов. И в результате мы получаем внешнее дипольное магнитное поле. Крайняя нестабильность в динамике вращения ядра внутреннего, ядра внешнего и мантии вызывает перемены полярности внутреннего поля, что автоматически должно сопровождаться инверсиями внешнего поля планеты. Таким образом, не исключено, что Земля является электромагнитом.

В данной связи следует обратить внимание на один важный момент. Внутреннее недипольное магнитное поле, обусловленное динамо-эффектом, скорее всего, выходит за пределы ядра планеты и присутствует в нижней части металлосферы. Вместе с тем через металлосферу идут потоки водородной плазмы. Соответственно, металлосфера должна также участвовать в генерации дипольного магнитного поля. По этой причине в спектре структур магнитного поля Земли должны быть региональные аномалии с размерами порядка 1000 – 3000 км. Если же в генерации магнитного поля участвует только ядро планеты, то аномалии менее 3000 км должны отсутствовать.

Длительные наблюдения за Каспийским центром вековых изменений вертикальной составляющей магнитного поля определенно свидетельствуют о наличии в его структуре резко выраженных аномалий с размерами порядка 1500 – 2500 км. Этот факт и ему подобные однозначно свидетельствуют об участии мантии в генерации магнитного поля Земли. В рамках традици-

онной ориентации только на жидкое проводящее ядро эти эмпирические данные воспринимались (и воспринимаются) крайне болезненно, тогда как наша концепция считает их абсолютно законными.

Существует стойкое убеждение в том, что палеомагнитные данные не позволяют предполагать сколь-либо существенное расширение планеты. Это убеждение, прежде всего, базируется на методе «палеоширот», который, в свою очередь, основан на априорном допущении неизменности во все времена конфигурации дипольной составляющей магнитного поля. Палеомагнитологи считают возможным аппроксимировать ее (дипольную составляющую) магнитным диполем весьма малых размеров (сравнительно с диаметром Земли), помещенным в центр планеты. Эта аппроксимация показывает примерно 80% совпадение с реальным полем современной Земли и позволяет использовать зависимость: $tg\,I = 2\,tg\,\varphi$, где I – наклонение, φ – широта. По остаточной намагниченности можно определять углы входа магнитных силовых линий (их наклонение) во время формирования породы и, соответственно, согласно приведенной формуле якобы можно устанавливать «палеошироту».

Однако это допущение (аппроксимация диполем) несовместимо с нашей моделью планеты. В свете наших представлений (***см. рис. 15***) в прошлые геологические эпохи (когда металлосфера имела меньшую мощность) граница ядра располагалась гораздо ближе к поверхности планеты, и у него (у ядра) были иные пропорции между внутренней твердой и внешней жидкой сферами. Сейчас жидкая сфера, в которой генерируется магнитное поле, занимает свыше 95% объема ядра, но в прошлом эта доля была существенно меньше. При такой эволюции ядра представляется недопустимой аппроксимация поля во все времена одним и тем же маленьким диполем. Скорее всего, в прошлые эпохи конфигурация магнитного поля находилась ближе к полю постоянного магнита (или соленоида), длина которого была сопоставима с диаметром планеты. И прежде чем на основе метода «палеоширот» объявлять о невозможности расширения Земли, следовало бы провести исследование именно нашей модели с целью определения «углов входа» магнитных силовых линий по широтам на различных этапах развития внутренней структуры планеты. Я полагаю, это исследование установит, что в прошлом тангенс угла наклонения не всегда и не везде был равен удвоенному тангенсу градуса широты. По всей вероятности, эти новые данные наложат существенное огра-

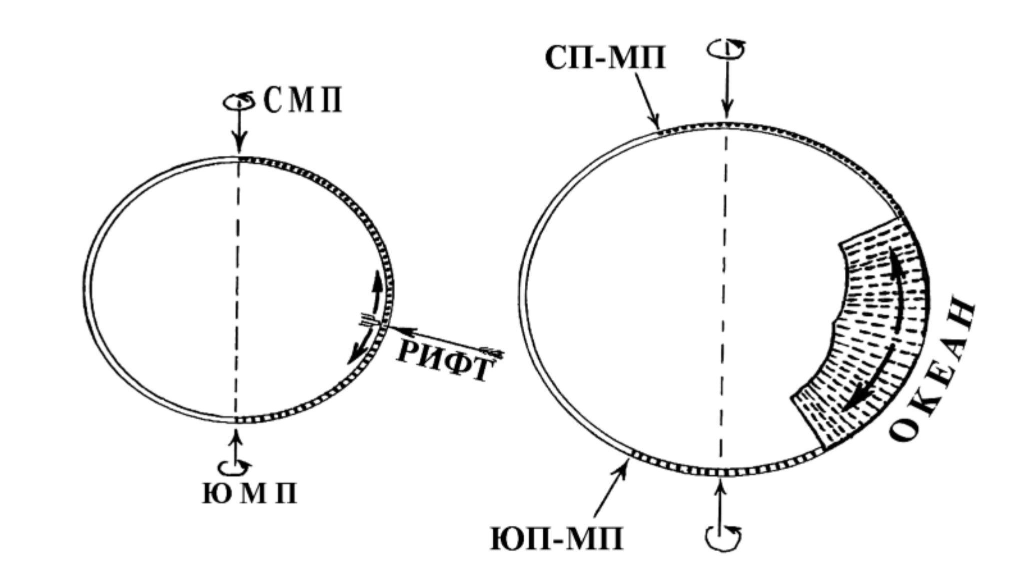
ничение на идею горизонтального дрейфа (в частности, отпадет палеомагнитная «обоснованность» гонять *«терейны»* на невообразимо большие расстояния).

Вместе с тем в рамках нашей модели образование океанов обязательно должно приводить к смещению континентов на огромные расстояния по широте и долготе, но не в результате горизонтального дрейфа плит, а в связи с увеличением радиуса планеты. Обсудим эту проблему. При осреднении положения магнитного полюса за 10 тысяч лет он точно попадает на географический полюс. Следовательно, магнитная ось должна совпадать с осью вращения планеты, и магнитный полюс должен совпадать с географическим (за исключением кратких периодов инверсий). По законам механики, если нет воздействия внешней силы, ось вращения планеты должна сохранять свое положение в пространстве вне зависимости от эндогенных процессов. Смещенное положение магнитных полюсов прошлого относительно современного географического принято связывать с горизонтальным дрейфом литосферных плит.

Наша версия отражена на ***рис. 49.*** Раскрытие океана, в связи с расширением Земли, приводит к смещению палеомагнитного полюса от оси вращения. Палеомагнитные данные, собранные по породам, образовавшимся во время начального рифтогенеза (начальной стадии образования океана), покажут магнитные полюсы того времени в точках СП-МП и ЮП-МП (см. рисунок). Однако в рамках нашей модели образования океана для этого смещения палеополюса нет никакой необходимости привлекать идею дрейфа литосферных плит. По нашим представлениям, литосферные плиты раздвигаются вместе с подстилающими их блоками металлосферы в связи с образованием «частокола» интерметаллических диапиров (***см. рис. 17***) под ложами океанических впадин.

Рис. 49.

Схема, иллюстрирующая перемещение палеополюсов от оси вращения планеты при раскрытии океана в связи с расширением Земли. СМП и ЮМП – северный и южный магнитные полюсы на эмбриональной стадии заложения океана. Стадия зрелого океана. СП-МП и ЮП-МП – северный и южный палеомагнитные полюсы, записанные в виде остаточной намагниченности в породах, образованных во время первичного рифтогенеза (на эмбриональной стадии развития океана) .



16. ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

В эволюции изначально гидридной планеты можно выделить две основные стадии: активного развития и пассивного старения. Активное развитие связано с дегазацией водорода, когда происходит изменение внутренней структуры планеты и формируются основные черты ее геологического строения. Стадия пассивного старения наступает по мере исчерпания водородных запасов, в результате чего умирает тектоническая активность планеты, исчезает магнитное поле, постепенно теряются атмосфера и гидросфера (если они были, разумеется). Современное разнообразие планет земной группы (***табл.*** *7*) зависит от их исходных размеров, а также удаленности от Солнца.

Таблица 7.

Физические характеристики внутренних планет.

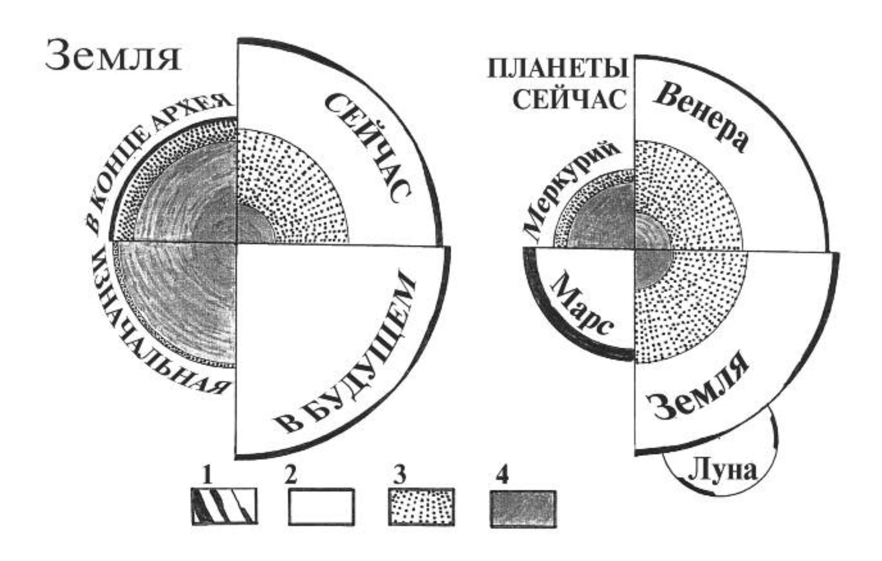
Характеристики	Меркурий	Венера	Земля	Луна	Марс
Масса, от массы Земли	0,055	0,816	1,000	0,012	0,107
Средняя плотность, г/см³	5,5	5,2	5,5	3,34	3,9
Скорость убегания, км/с	4,3	10,4	11,2	2,37	5,0
Период вращения, сутки	58,65	243,2	1,00	27,32	1,025
Магнитосфера (внешняя)	-	-	+	-	-
Гидросфера	-	-	+	-	?
Расстояние от Солнца, а.е.	0,387	0,723	1,000	1,000	1,524

Внутреннее строение планет, еще не исчерпавших водородные запасы, соответствует структуре Земли, т.е. они имеют плотные гидридные ядра и, соответственно, высокую среднюю плотность, тогда как полностью дегазированные планеты обладают значи-

тельно меньшей плотностью. В этой связи становятся понятными высокие плотности крупных планет – Земли и Венеры и значительно меньшие плотности малых планет – Луны и Марса. Последние израсходовали свои водородные запасы и в настоящее время представляют собой сферы из интерметаллических силицидов, покрытые силикатно-окисной оболочкой (***рис. 50***).

Рис. 50.

Внутреннее строение Земли на различных этапах ее развития и особенности внутреннего строения планет земного типа на современном этапе (в свете их изначально гидридного состава). 1 – внешние силикатно-окисные оболочки, 2 – бескислородные интерметаллические соединения (преимущественно силициды), 3 – металлы с растворенным в них водородом, 4 – гидриды металлов.



Исключительность небольшого Меркурия (5,5% от массы Земли), имеющего высокую плотность и, следовательно, непропорционально большое ядро, связана с его статусом ближайшей планеты к Солнцу. Согласно магнитной сепарации он получил наименьшую долю кислорода и, соответственно, должен иметь самую тонкую силикатно-окисную оболочку. Последняя, по всей видимости, столь маломощна (и так сильно нарушена ударно-взрывными кратерами), что не в состоянии обеспечить термоизоляцию недр. Темпы развития такой планеты должны быть резко замедлены и в

ней длительное время может сохраняться гидридное ядро в связи с тем, что потеря тепла идет весьма эффективно и разогрев недр не достигает температурного предела устойчивости гидридов.

С наших позиций, магнитное поле могут иметь только те планеты, которые еще не исчерпали запасы гидридов и которые достаточно быстро вращаются. Поэтому у Луны и Марса (они исчерпали свои запасы водорода) магнитного поля в настоящее время нет. Однако в прошлом, на активной стадии развития этих планет, магнитное поле у них было, поскольку скорость вращения Марса близка земной и Луна раньше вращалась значительно быстрее, но затем затормозилась приливным трением. В будущем по «записи» магнитного поля (по остаточной намагниченности) можно будет установить продолжительность активной стадии их развития, так как время тектонической смерти фиксируется отключением магнитосферы. Отсутствие магнитных полей у Венеры и Меркурия обусловлено малыми скоростями их вращения, к тому же Меркурий застыл в своем развитии.

Венера находится ближе к Солнцу, чем Земля, и в этом причина столь разительных отличий в условиях на поверхности соседних планет, хотя их внутреннее строение, по сути, одинаково (***рис. 50***). При образовании протопланетного диска, в зоне формирования нашей соседки, исходная доля кислорода оказалась меньше земной (из-за магнитной сепарации). На Земле кислорода оказалось достаточно и на литосферу, и на гидросферу. По всей видимости, на Венере его не хватило для своевременного образования гидросферы. В результате углекислый газ не имел возможности «садиться» в виде карбонатов, а накапливался в атмосфере, что спровоцировало мощнейший парниковый эффект, температура атмосферы поползла вверх и в настоящее время составляет порядка 500 ^{0}C.

Отсутствие гидросферы на Меркурии также можно объяснить дефицитом кислорода. Кроме того, эволюция этой планеты заторможена, и даже та самая малая относительная доля кислорода, отмеренная магнитной сепарацией, практически вся остается в теле планеты, поскольку нет водородной продувки. К тому же Меркурий очень энергично обдувается «солнечным ветром», который (при отсутствии магнитной защиты) сдувает все газообразное. По этой причине атмосфера там не может удерживаться.

Масса Луны слишком мала для удержания газов, и поэтому на ней никогда не было ни атмосферы, ни гидросферы даже на активной стадии ее развития, когда происходила дегазация водорода и существовало дипольное магнитное поле.

С наших позиций, характер тектонических структур планеты также определяется размерами планеты. Расширение планеты обусловлено степенью уплотнения гидридов во внутренних зонах, но уплотнение зависит от давления, т.е. от массы планеты. Чем больше масса космического тела, тем выше в его недрах давления, тем значительней уплотнение и, соответственно, тем больше возможный масштаб расширения планеты на стадии активного развития, и, наоборот, на малых планетах увеличение объема должно быть гораздо меньшим или будет вообще отсутствовать. Расширение планеты сопровождается заложением протяженных поясов тектономагматической активности. Если же планета мала и ее расширение сильно редуцировано, то тектоногены будут «трубообразными», а тектономагматические структуры овально-кольцевыми.

По нашему мнению, именно в этом отличие лунного лика (с его кольцевыми структурами) от Земли, для которой характерны протяженные системы горных цепей и еще более протяженные зоны рифтогенеза. Марс по размерам занимает промежуточное положение, и, как выяснилось, на его поверхности есть и кольцевые, и линейные структуры, но масштабы расширения этой планеты во много раз меньше земных. Понятно, что на Венере тектономагматических поясов должно быть больше, чем на Марсе. Вместе с тем если изотерма в 500 ^{0}C в венерианской литосфере находится на поверхности, то наверняка такая литосфера имеет гораздо большую пластичность по сравнению с земной. По этой причине зоны спрединга на Венере должны маскироваться пластичной литосферой, способной растягиваться, тогда как на Земле рифтогенез проявляется гораздо более четко из-за преобладания в коре хрупких деформаций. Специалисты, однако, разглядели на Венере обширные зоны «мягкого спрединга», осуществляемого в пластичной среде, что свидетельствует о расширении планеты.

Любопытно обратить внимание на многочисленные свидетельства древнейших народов Земли о необычном облике Венеры в прошлом: оказывается, она была яркой, «как Солнце, и с хвостом». В те времена поэтически настроенные летописцы редко упоминали Луну, но восторгались исключительно Венерой. Об этих свидетельствах с удивлением писал А.Гумбольдт. Мощная корона из водорода, сдуваемая солнечным ветром, вполне могла создать столь необычный для нас облик этой планеты. В рамках нашего понимания, в этом нет ничего необычного, просто письменность

на Земле появилась прежде, чем на Венере закончился очередной этап дегазации. К тому же столь резкие изменения Венеры (на протяжении исторического времени) могли быть обусловлены только водородом, обладающим высокой скоростью диссипации в космическое пространство.

16.1. Преимущественно о Луне

Рассмотрим некоторые особенности активной стадии развития изначально гидридной Луны. С наших позиций, дегазация водорода сопровождалась сокращением объема водородсодержащего ядра и увеличением мощности металлосферы. На этом фоне (так же, как и на Земле, со временем) происходила дифференциация потока водорода на отдельные «струи» и последующее их слияние в более крупные «русла». Основной объем кремний-кислородной оболочки, скорее всего, был образован на самом раннем этапе «водородной продувки», когда водородный поток был еще повсеместным. При разделении этого потока на отдельные струи поверхность Луны покрылась многочисленными кратерами-кальдерами, которые являются непременным атрибутом вулканоплутонических процессов*.

** Отличить кратер ударно-взрывного происхождения, от кратера, образовавшегося в результате вулканоплутонических процессов, не составляет труда, если можешь их обстучать молотком, отобрать образцы, посмотреть шлифы, ... Но если они на Луне, имеют возраст в миллиарды лет и все это время подвергались метеоритной и микрометеоритной обработке (точнее будет сказать, эрозии), то определение их генезиса становится большой проблемой. Особенно если все твои наблюдения сделаны с помощью телескопа и ты не трогал их геологическим молотком. По этой причине исследователи Луны больше гадают, чем доподлинно знают, когда говорят о природе древних кратеров «лунных материков». И это понятно, с одной стороны, вся поверхность нашего спутника это разнообразные вулканиты, в такой обстановке признать в лунном кратере вулканическую кальдеру – дело вполне естественное. Но с другой стороны, вот он – кратер «Тихо», с его лучевыми выбросами, а также «Коперник», «Аристарх» и др., они-то явно ударно-взрывные. Совершенно определенно, на Луне есть и те, и другие, но каких больше? Кстати, некоторые вулканические кальдеры на Земле имеют «центральную горку», а у других (тоже вулканических) ее нет.*

Таким образом, на этом раннем этапе произошло формирование лунных «континентов» – светлых областей, которые некогда покрывали всю поверхность нашего спутника. Кстати, светлые они из-за повышенного содержания анортита. Может быть, этот каркасный силикат действительно образовался одним из первых при формировании лунной литосферы по силицидам (см. выше раздел 11.2). В дальнейшем, по мере уменьшения ядра и увеличения мощности металлосферы, многочисленные и сравнительно мелкие «струи» собирались в более крупные потоки, на выходе которых сформировались лунные «моря» с их обильными излияниями базальтов. Причина этого магматизма, по всей видимости, та же – водород (как теплоноситель) и силаны (см. выше разделы 9.4 и 12).

Приборы, доставленные на Луну американскими астронавтами, позволили определить мощность лунной коры порядка 60 км. Однако в рамках нашей концепции там была определена не мощность коры, а толщина силикатно-окисной оболочки, поскольку ниже этой границы скорости прохождения сейсмических волн имеют величину порядка 7,6–7,7 км/с. Эти данные близки к значениям, полученным в эксперименте с Si-Mg-Fe-сплавом в интервале давлений от 5 кбар и выше. Скорости в мантийных ультрабазитах под земной корой обычно выше 8 км/с (***см. рис. 18***).

Относительно происхождения Луны существует много самых разнообразных гипотез. Как вы помните, мы категорически отвергаем возможность аккумуляции планет земной группы из твердых частиц и тел, поскольку ионизированное состояние протовещества препятствовало скоропостижной конденсации. В нашем понимании, эти планеты собирались из плазменных протопланетных глобул. И в данной связи нам наиболее подходит мнение тех астрономов, которые рассматривают пару Земля–Луна как двойную планету. Суть этой точки зрения в следующем: сначала формировалась единая протопланета, но под конец аккумуляции она набрала столь большой угловой момент, что была вынуждена разорваться на две неравные части. Этот механизм предполагает одинаковый изначальный состав Луны и Земли, что подтверждается сопоставлением их составов (***см. рис. 5***). Соответственно, на Луне, как и на Земле, исходное содержание кислорода было порядка 1%. Это означает, что средняя мощность силикатно-окисной литосферы на Луне должна быть в пределах 25–30 км. По нашим представлениям, кислород выносился из недр планеты потоками водорода. Поэтому толщина силикатной оболочки где-то

может быть меньше, а местами существенно больше, особенно в тех зонах, где инфильтрация водорода протекала более длительно и где его потоки имели б**о**льшую плотность. Таковыми зонами являются лунные моря.

Еще в 60-х годах XX века наблюдения выявили странную динамику в движении орбитальных аппаратов вокруг Луны: пролетая над определенными районами, они почему-то получали ускорение. Потом уже и американские астронавты с удивлением отмечали, что при движении по орбите у них временами появлялось ощущение, как будто бы они внезапно начинали падать на Луну. Это однозначно указывало на мощные аномалии в гравитационном поле. Такие аномалии связаны с локальными скоплениями плотных масс в теле планеты, и эти загадочные скопления были названы «масконами»*. Обсудим это явление.

** Термин «маскон» происходит от английского «**mas**s **con**centration».*

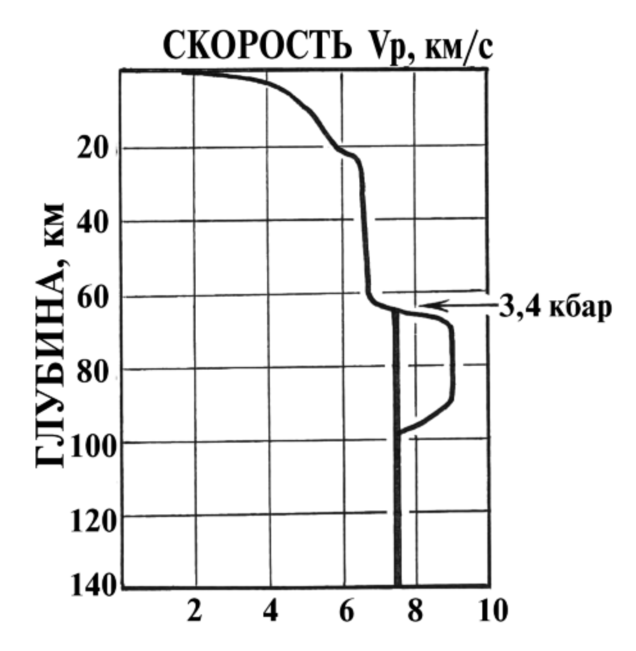
По экспериментальным данным А.Рингвуда и Д.Грина (1972), трансформация пироксен-плагиоклазовой (габбровой) минеральной ассоциации в пироксен-гранатовую (эклогитовую, гораздо более плотную) начинается в сухих условиях при давлении 3,4 кбар и температуре 1100 ^{0}С. В недрах Луны (кстати, сухих) такое давление достигается на глубине 65 км. Экспедиции «Apollo» установили несколько сейсмографов, и наблюдения выявили, что местами имеется «высокоскоростной козырек» в интервале глубин от 65 до 90 км (***рис. 51***). В свете экспериментов Рингвуда – Грина, появление этого «козырька» (со скоростями 9 км/с) мы связываем с образованием линз эклогитов в тех местах, где силикатная литосфера имеет мощность более 65 км. Ниже этих плотных линз скорости держатся на уровне $\approx$ 7,6 км/с, что совпадает со скоростями в интерметаллических силицидах при соответствующем давлении (***см. рис. 18***). В данной связи становится понятной приуроченность «масконов» прежде всего к лунным «морям», под которыми, по нашим представлениям, литосфера имеет максимальную мощность*.

** Для традиционной точки зрения, предполагающей силикатное сложение всего объема Луны (рис. 52а), «масконы» представляют большую проблему. Если связывать их с появлением плотного граната, то совершенно непонятно, почему эклогиты не прослеживаются на глубину? Высказывались предположения, что «масконы» – это астероиды с большим содержанием железной фазы. Но тогда,*

чтобы не разбрызгать тело при ударе о Луну и сохранить его массу в компактном виде, надо каким-то образом организовать «мягкое причаливание» астероида. Но как это сделать при скоростях свыше десяти км/с? Кроме того, скорость звука в железе порядка 5 км/с, а для «маскона» нужно девять.

Рис. 51.

Модель скоростного разреза внешней сферы Луны по сейсмическим данным. Варианты в интервале 60–100 км отражают прерывистость высокоскоростного слоя.



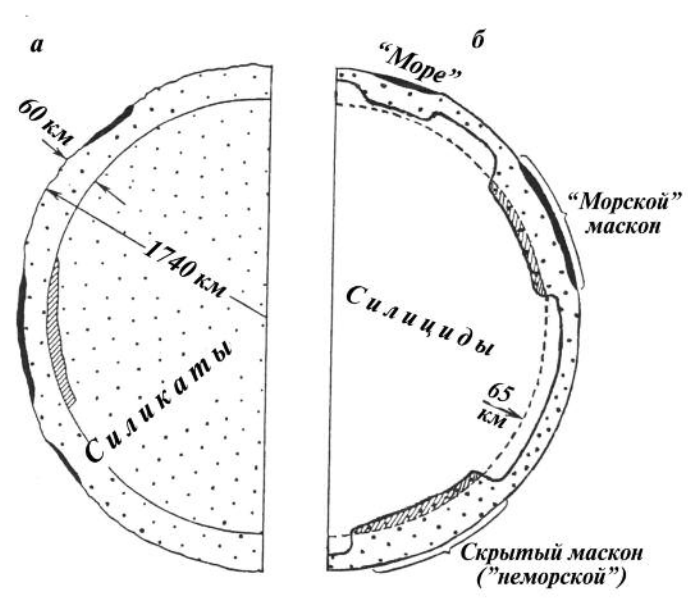
Но, разумеется, «море» может быть без спрятанного под ним «маскона», и «маскон» может быть без «моря». Такой вроде бы есть на обратной стороне Луны, и его назвали «скрытым масконом» (***рис. 52***). Дорогой читатель, причины этих вариаций вы вполне можете додумать сами.

Морфология структур и внутренняя динамика тектонических процессов, с нашей точки зрения, зависит от размеров планеты. Если мощность литосферы на Луне не превышает 100 км, а сила тяжести составляет 0,16 (от земной), то давление в устье тектоногена должно быть порядка 3 – 5 килобар (тогда как на Земле оно в десятки раз больше). Такого давления явно недостаточно для уп-

лотнения «наводороженных» металлов лунных тектоногенов, и по этой причине «зон заглатывания» на Луне не было. Этим объясняется полное отсутствие складчатости на Луне. На Марсе (его масса в 9,35 раза меньше земной) зоны заглатывания если и были, то сильно редуцированные, и складчатые структуры на Красной планете (в сравнении с земными) должны быть проявлены в значительно меньшем объеме. На Венере складчатость могла проявляться столь же интенсивно, как и на Земле. Однако из-за парникового эффекта, повышающего температуру поверхности на 500 ^{0}C, венерианская литосфера имеет высокую пластичность, и там мы наверняка не увидим шарьяжи альпийского типа.

Рис. 52.

Модели строения Луны: а — в свете традиционных представлений (Taylor, 1975), б — согласно нашим построениям (пунктиром показан уровень, ниже которого в литосфере Луны образуется гранат). Заштрихованные зоны — «высокоскоростные масконы», «заливка черным» — лунные моря.



Пассивная стадия в развитии планет земного типа должна характеризоваться одним примечательным явлением — обильным плавлением. Согласно нашим представлениям, на Луне исходные

концентрации радиоактивных элементов одинаковы с земными. Однако когда планета мертва в тектоническом отношении, не расходует тепло на расширение и не теряет его с уходом водорода-теплоносителя, то генерация радиогенного тепла должна вызывать разогрев недр и переплавление обширных объемов планеты. Практически полное отсутствие летучих, которые играют важную роль в дифференциации магматических расплавов, приводит к гомогенизации переплавляемых объемов. При значительных масштабах этого процесса, очевидно, уничтожается и внешний структурно-тектонический облик планеты, созданный на активном этапе ее развития. Таким образом, все ранее созданное на активной стадии (руды, породы, структуры, зоны...), все это затем уходит в переплавку и подвергается гомогенизации. Мы предлагаем называть этот процесс «трупным магматизмом», и он поражает, прежде всего малые планеты, которые быстро заканчивают активную стадию и рано умирают, когда генерация радиогенного тепла была в несколько раз больше. С точки зрения термодинамики «трупный магматизм» – это следствие перехода планеты после исчерпания водорода в закрытое состояние, в котором при росте температуры происходит увеличение энтропии системы (***см. раздел 14***).

По всей вероятности, Океан Бурь и некоторые другие бесструктурные темные области возникли в результате «трупного магматизма». И если мы правы, то в этих областях возможно выявление наиболее молодых лунных магматитов, которые будут отличаться слабой степенью дифференцированности (петрохимической, геохимической) и не должны нести следов остаточной намагниченности, поскольку магнитное поле отключается в момент тектонической смерти планеты.

Плавление в недрах Луны, возможно, продолжается и в настоящее время, но в значительно меньших масштабах, поскольку «в разы» уменьшилась генерация радиогенного тепла. Кроме того, температурный режим планеты сильно зависит от состояния ее силикатно-окисной оболочки, которая является термоизолирующей сферой. Если она в значительной мере нарушена, например, в связи с образованием крупных ударно-взрывных кратеров, то внутреннее тепло планеты может стекать через эти пробои-отдушины и плавление будет сильно сокращено.

Несколько слов о тепловом потоке. Традиционно было принято считать, что Луна имеет хондритовые концентрации урана, тория и калия, и согласно этому тепловой поток предполагался порядка 10 мВт/м^2. Непосредственные измерения выявили гораздо более высо-

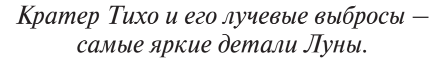
кие значения (31 мВт/м^2 – Аполлон 15, 28 мВт/м^2 – Аполлон 17), что явилось большим конфузом для традиционной точки зрения и поставило под сомнение хондритовую модель. В рамках наших построений на Луне (по сравнению с хондритами) урана и калия больше на порядок, тория примерно в два раза. На тектонически мертвой планете должно быть примерное соответствие между тем, что генерируется в недрах, с тем, что выходит на поверхность. По нашим прикидкам, средний тепловой поток на Луне должен быть в пределах 60 мВт/м^2. Таким образом, для нашей концепции обнаруженные значения недостаточно велики. Однако необходимо учитывать возможность резкой дифференцированности теплового потока на Луне.

Теплопроводность интерметаллических силицидов на порядок выше, чем у силикатов. Поэтому величина теплового потока на поверхности Луны должна варьировать в зависимости от мощности теплозапорного слоя силикатов. Если мы будем измерять температурные градиенты над масконами (где силикатный слой самый мощный), то они будут ниже среднего, а в местах с утоненной литосферой – гораздо выше. К тому же пробои-отдушины от крупных ударно-взрывных кратеров могут пробивать всю толщу литосферы вплоть до интерметаллических силицидов. Выше мы говорили, что средняя мощность силикатно-окисной оболочки на Луне должна быть в пределах 25–30 км. Но где-то она может быть тоньше. Экспериментальные и теоретические исследования взрывного образования кратеров показали, что глубина кумулятивной воронки при взрыве достигает 1/3–1/4 диаметра кратера (она сразу же засыпается взорванным материалом). Диаметр кратера Тихо – 86 км, следовательно, его взрывная воронка могла пробить литосферу и углубиться в силициды. Будучи засыпанной смесью из силикатов и силицидов, она (воронка) будет иметь повышенную теплопроводность, и весьма вероятно, что в таком кратере тепловой поток будет достигать 100 мВт/м^2 и даже более.

Лучевые выбросы кратера Тихо прослеживаются в некоторых направлениях на тысячи километров (***рис. 53***), и они являются самыми светлыми на поверхности Луны. Их повышенная отражательная способность, по всей видимости, обусловлена примесью интерметаллических силицидов, имеющих высокое альбедо. Еще в 60-х годах прошлого века поверхность нашего спутника зондировали с Земли радиоимпульсами и обнаружили, что в кратере Тихо и на его лучах отражение радиолокационных сигналов резко повышается, что свойственно металлам. Я надеюсь, при дальнейших исследованиях кратеру Тихо будет уделено достойное внима-

ние, все-таки это наиболее яркая деталь видимой стороны Луны.

Рис. 53.



Кратер Тихо и его лучевые выбросы — самые яркие детали Луны.



Для такого внимания есть и сугубо практическая цель. Рано или поздно на Луне появятся станции постоянного обитания, и будущих обитателей может подстерегать опасность необычного рода. Силициды, вырванные взрывами и выброшенные на поверхность, в результате метеоритной обработки перемешиваются с лунным реголитом, состоящим из частиц силикатов и окислов. Но такая смесь огнеопасна, как термит. Силициды (содержащие — Si, Mg, Ca, Al и др.) способны отбирать кислород у окислов железа (а также у Mn, Ni и др.) с выделением большого количества энергии. На роль «фитиля» подходят микрометеориты, они ничего не разбрасывают, но могут поднять температуру «в нужной точке» и запалить форменный пожар. В данной связи обращают на себя внимание сообщения астрономов-любителей о загадочном явлении «красного свечения». На ночной стороне Луны вдруг появляется

«красная точка», свечение в течение нескольких часов усиливается и расширяется, затем начинает угасать и пропадает совсем. При этом не наблюдается никакого изменения рельефа. Всем этим предсказаниям трудно поверить даже мне – автору, но вместе с тем я бы предпочел селиться за пределами светлых лучевых выбросов «от греха подальше», пока не будет выяснена их природа.

16.2. О Марсе

Рассмотрим некоторые особенности состава и строения Марса. В свете выявленной нами магнитной сепарации элементов, мы действительно можем определить особенности состава этой планеты. Для этого сначала определим изначальную распространенность элементов в зоне пояса астероидов. По характеру распределения элементов на рисунке 4 мы можем провести тренд этой самой изначальной распространенности и на этот тренд помещаем химические элементы, согласно их потенциалам ионизации. Данная процедура выявляет изначальную распространенность элементов, т.е. обилие или дефицит элементов в зоне пояса астероидов относительно их содержания на Земле. Зона формирования Марса находится между Землей и поясом астероидов, и согласно магнитной сепарации тренд распространенности элементов в этой промежуточной зоне должен идти с меньшим наклоном (***рис. 54***) по сравнению с трендом астероидов. Так мы определяем, каких элементов на Марсе больше, каких меньше, а каких примерно одинаково в сравнении с Землей.

Рис. 54.

Тренды относительной распространенности элементов в зависимости от их потенциалов ионизации.



Из этих различий в составе Земли и Марса вытекают многочисленные следствия. Прежде всего, доля кислорода на Марсе примерно на порядок больше, чем на Земле. Следовательно, там доля литосферы в объеме планеты значительно больше, ее средняя мощность должна быть порядка 350 км (радиус Марса – 3386 км). И, разумеется, на Марсе должно быть много воды. Толща гидросферы к концу активной стадии развития, видимо, измерялась километрами. Однако из-за малых масштабов расширения планеты океанических впадин не было, и, следовательно, в активную стадию Марс практически весь был покрыт водой и лишь кое-где торчали горные вершины.

Содержание углерода на Красной планете в несколько раз больше, чем на Земле. Стало быть, в активную стадию развития Марса в его атмосфере (ныне утерянной) присутствовало много углекислого газа. Это должно было вызвать парниковый эффект. Соответственно, в те теплые времена могли быть моря жидкой воды. Затем, в связи с исчерпанием водорода, планета умерла, отключилось магнитное поле, плотная атмосфера без эндогенной подпитки быстро сошла на нет, стало холодать, и наступило великое оледенение. Времени было достаточно, чтобы вся гидросфера промерзла и покрылась одеялом из марсианской пыли.

Эксцентриситет орбиты Марса определяет смену времен года, и в летний период температуры в экваториальной зоне могут превышать 0 ^{0}С, тогда как за пределами этой зоны они могут опускаться ниже минус 100 ^{0}С (такой разброс температур наблюдается в настоящее время). При малой плотности атмосферы водяной лед в теплой зоне не столько плавится, сколько возгоняется, и эти возгоны частично теряются, а частично конденсируются в зонах низких температур. По всей вероятности, такая ситуация после смерти планеты существовала весьма длительное время и обусловила перепады высот на некогда ровной поверхности замороженной гидросферы. Это, в свою очередь, обусловило течение льда и появление характерных форм ледникового рельефа. Следует отметить: как только появились хорошие фотографии поверхности Марса, специалисты сразу стали говорить именно о таком (ледниковом) характере рельефа.

На Луне излияния базальтов в Океане Бурь начались 3,2 миллиарда лет назад. Если считать этот рубеж началом «трупного магматизма», то активная стадия Луны продолжалась 1,3 миллиарда лет (4,5 – 3,2 = 1,3). Марс по массе в несколько раз больше Луны и во столько же раз меньше Земли, все еще активной. По всей ви-

димости, продолжительность активной стадии Красной планеты была где-то между земной и лунной, т.е. порядка 2 – 2,5 миллиардов лет. Можно предположить, что в последнюю треть этого срока на Марсе существовали теплые моря и богатая кислородом атмосфера. На это указывает красновато-бурый цвет марсианской пыли, который свидетельствует о резком преобладании окисного железа над закисным. Временами такое бывало и на Земле, когда случались эпохи накопления красноцветов из-за повышения парциального давления кислорода в атмосфере.

Таким образом, плюсовая температура, теплые моря и атмосфера с кислородом существовали на Марсе достаточно длительное время, не менее полумиллиарда лет. А до этого периода, на этапе формирования силикатно-окисной оболочки, атмосфера состояла (как и на Земле на таком же этапе) преимущественно из метана, аммиака и сероводорода, (CH_4, NH_3, H_2S,); к которым затем добавился угарный газ (CO). С точки зрения специалистов – это идеальные условия для зарождения жизни. Но случилось ли это на Марсе, а если случилось, то насколько преуспела эволюция? Ответы на эти вопросы могут дать только непосредственные исследования Красной планеты.

Дорогой читатель, при помощи тренда относительной распространенности элементов на Марсе (***рис. 54***) вы можете сами определить согласно своим интересам, что там может быть и чего не может быть. К примеру, калий, натрий и алюминий имеют малые потенциалы ионизации, и поэтому их должно быть в несколько раз меньше на Марсе (относительно Земли). По этой причине на нем мы вряд ли увидим обилие гранитов. На Марсе высокое содержание углерода, соответственно, там должно быть гораздо больше карбонатных пород. При этом будут преобладать карбонаты на основе магния, тогда как на Земле преобладающими являются карбонатные породы на основе кальция.

Несколько лет назад по средствам массовой информации прошла научная сенсация: оказывается, серы на Марсе в несколько раз больше, чем на Земле! Однако о том, что именно так и должно быть, я упоминал в своих книгах задолго до появления этой «сенсации». И догадаться об этом было совсем просто, если знаешь о магнитной сепарации элементов, которая определила составы планет при образовании протопланетного диска.

Пониженные концентрации урана и калия на Марсе должны приводить к меньшей генерации радиогенного тепла. Вместе с тем если удастся замерить там тепловой поток, то он окажется на

уровне среднего Земли или даже немного выше! В рамках бытующих представлений этого не может быть никогда! Согласно нашей концепции, этот парадокс (пока еще не обнаруженный) объясняется тем, что Земля активно развивается, и девять десятых радиогенного тепла, генерируемого в теле планеты, расходуется на ее внутренние процессы, в основном на расширение. Марс давно закончил свою активную стадию развития, и все его радиогенное тепло должно выходить наружу.

Поскольку Красная планета давно мертва в тектоническом отношении, то у нее не должно быть сейсмической активности. Она давно потеряла свой водород, стало быть, у нее не может быть астеносферы, и, соответственно, на Марсе не должно быть явления «изостазии». В данной связи нас не должны удивлять резкие аномалии в гравитационном поле и «вулканы» высотой до 28 км. Это очень много, даже с учетом того, что сила тяжести на Марсе составляет 0,38 от земной.

Концентрации радиоактивных элементов на Марсе ниже, чем на Земле, но все же они «в разы» больше метеоритных, и при мощной литосфере (с ее малой теплопроводностью) способны обеспечить разогрев планеты после ее тектонической смерти. Среди планет земной группы Марс получил наибольшую долю кислорода. По этой причине он оказался «обводнен» в гораздо большей степени в сравнении с другими планетами, расположенными ближе к Солнцу, что должно было также проявиться в большем содержании воды (гидроксильной, кристаллизационной, цеолитной) в породах его литосферы и осадочного чехла*.

** Сила тяжести на Марсе в 3 раза меньше земной, но это сейчас. В давние времена, когда формировалась литосфера, сила тяжести на Земле была 3,5 g. Расширением Марса можно пренебречь, и, следовательно, его литосфера создавалась при давлениях примерно на порядок меньших в сопоставлении с литосферой Земли. Это значит, что в марсианской силикатной оболочке могли образовываться минералы с меньшей плотностью, и прежде всего минералы, содержащие воду (гидроксильную, кристаллизационную...).*

С началом «трупного разогрева» эта вода «отжималась» на поверхность планеты в виде термальных флюидных струй, для которых характерно стремление собираться в крупные «термогидроколонны». При выходе такой колонны наружу, где атмосфера очень разрежена, происходило бурное вскипание воды, вернее, водных растворов, они превращались в пену, объем которой катастрофически увеличивался.

Здесь будет уместно привести некоторые цифры. Давление марсианской атмосферы составляет 0,01 бара (в 100 раз меньше земного). Допустим, такая атмосфера была показательна и для прошлого времени мертвого Марса. Под давлением 0,01 бара вода закипает при температуре 6,7 ^{0}С, и из каждого см^3 воды образуется 120 литров водяного газа (в условиях насыщения), т.е. происходит увеличение объема в 120 тысяч раз. Допустим, в верхней части термогидроколонны температура воды была порядка 100 ^{0}С, но она не кипела, будучи под давлением более 1 бара. После открытия дыры наружу вода оказывается сильно перегретой и вскипание должно быть очень бурным, больше похожим на взрыв. Однако парообразование весьма энергоемкий процесс, и там, где температура была 100 ^{0}С, всего лишь ≈ 1/6 объема воды перейдет в пар, и температура уже упадет ниже точки кипения (6,7 ^{0}С). При увеличении объема пузырьков водяного газа происходило резкое охлаждение извергаемой пены, которая к тому же попадала в весьма холодную марсианскую атмосферу. В результате выброшенный материал быстро замораживался и выпадал на поверхность планеты в виде ледяной крупы и пыли. Выходное отверстие засыпалось этой же пылью, сильно охлажденной в атмосфере, и царящие на поверхности глубокие минусовые температуры быстро запечатывали его ледяной пробкой. Теперь должно пройти время, чтобы весь цикл повторился. По всей видимости, это было впечатляющее зрелище, чем-то напоминающее периодическую работу гейзера, только такого огромного, что его работу, пожалуй, можно было бы рассмотреть издалека (например, с Земли через хороший телескоп).

Так, раз за разом, возводились циклопические постройки – «вулканы» Марса («Олимп» и прочие), которые с нашей точки зрения могут оказаться наледями. Разумеется, они состоят не из чистого водяного льда, в нем должно быть много мусора в виде частиц дробленых пород, поскольку извержения должны были протекать весьма динамично (расширение газовой фазы в 120 тысяч раз!). Мне как-то довелось сидеть на кромке кратера (земного, разумеется), из которого била сверхзвуковая струя водяного газа с различными вонючими примесями. Диаметр этой струи был всего-то 50 метров. И что любопытно: такие скорости, но никакого свиста, только утробный рев на басах, и все вокруг трясется и осыпается. Как тут обойдешься без выброса мусора? Кроме того, жидкая фаза в фильтрующейся термогидроколонне наверняка содержала в растворен-

ном виде разнообразные хлориды, карбонаты, сульфаты и др. соединения*.

** Температура кипения растворов несколько выше температуры кипения чистой воды. Но это никак не изменит сути описанного процесса.*

Так что марсианские «вулканы», скорее всего, горькие на вкус и обладают сильным слабительным действием (вот будет подспорье для колонистов, у которых наверняка на первых порах будут проблемы с питанием).

В процессе дегидратации породы резко увеличивают свою плотность. Например, при переходе серпентина в оливин плотность увеличивается примерно на 27%. Поскольку объем дегидратированных пород многократно превышает объем «вулкана», то под ледяными вулканами Марса должна быть серьезная начинка с избыточной плотностью, которая в основном и создает мощные положительные аномалии в гравитационном поле. Расчеты возможных аномалий на основе этой модели показывают идеальное сходство с фактическими данными, полученными с орбитального спутника (спутник вращался на высоте 275 км и обнаружил над «вулканами» положительные аномалии до 1500 мгал).

Грандиозные ледяные «вулканы» на Марсе, скорее всего, могут быть только на континентах, вернее, на участках суши, торчащих из-под ледяной оболочки (застывшей гидросферы). Дело в том, что температура плавления водяного льда уменьшается с увеличением давления. И если мы подадим тепло из глубины и начнем плавить снизу марсианскую криосферу, то зона плавления будет распространяться по ее подошве (где максимальные давления), т.е. будет распространяться вширь по наибольшим глубинам. Вода из зон дегидратации будет просто растекаться по этим зонам плавления, и поскольку жидкая вода тяжелее льда, то у нее не будет никаких стимулов рваться наружу.

Могут ли марсианские «вулканы-гейзеры» порадовать нас извержениями в настоящее время? Это вряд ли, из-за существенного уменьшения генерации радиогенного тепла в связи с вымиранием радиоактивных элементов.

16.3. Пояс астероидов

Минералого-петрографические особенности метеоритов показывают, что они в своей основной массе образовались в недрах достаточно крупного материнского тела, которое затем по какой-то причине распалось. В нашем понимании, распад был обусловлен химическим составом этой удаленной зоны (опять виновата магнитная сепарация элементов). В зоне пояса астероидов, согласно трендам относительной распространенности элементов, кислорода должно быть в 100 раз больше, чем на Земле. Следовательно, материнская планета была полностью силикатно-окисной, и никаких гидридов в ней изначально не было.

Исходное содержание углерода в зоне пояса астероидов было не менее 3%. При таком содержании углерода количество карбонатов в теле материнской планеты могло достигать 25%. Карбонаты при достижении некоторого уровня температуры начинают разлагаться с выделением CO_2. Минерал магнезит – $MgCO_3$ (он преобладал среди прочих карбонатов в материнской планете) начинает распадаться при температуре 500 ^{0}С. Однако увеличение давления повышает температурный предел устойчивости карбонатов.

Теперь представьте себе, что эта материнская планета к концу аккумуляционного процесса была относительно холодной и в ее недрах прошли реакции с образованием карбонатов. Затем, по мере радиогенного разогрева, влияние температуры могло превзойти стабилизирующее воздействие давления, пошли реакции с разложением карбонатов и выделением большого количества углекислого газа, что и привело к распаду планеты. Или, например, имея уже хорошо прогретые недра, но все еще стабильные под литостатическим давлением, материнская планета испытала мощный удар другого космического тела («незваные гости» могли приходить из «занептунной» области в начальные полмиллиарда лет, см. раздел 1). По расколам, проникшим вглубь планеты, давление могло резко понизиться. В результате произошло бурное разложение карбонатов, и углекислый газ разорвал планету на отдельные фрагменты.

В данной связи давайте еще раз посмотрим на ***рис. 4.*** Как мы видим, некоторые элементы резко выпадают вниз из общей совокупности. Следует отметить, что именно они (Ce, Nb, Ta, Th, P...) имеют геохимическую склонность концентрироваться в

карбонатной фазе. В частности, этот набор характерен для земных карбонатитов, которые на нашей планете встречаются, но не очень часто. Соответственно, в недрах Фаэтона перечисленные элементы также должны были скопиться в карбонатных минералах при их образовании, тогда как силикатные минералы оказались обеднены ими. При разложении карбонатов и распаде планеты – церий, ниобий, тантал, торий, фосфор (и др. из этой геохимической компании) оказались не в силикатных обломках (метеоритах и астероидах), а среди космической пыли, которая за миллиарды лет успела рассеяться и осесть в различных частях солнечной системы.

Таким образом, магнитная сепарация, определившая особенности состава протопланетного вещества на различных расстояниях от центра, заложила тем самым «программу самоуничтожения» будущей планеты в этой удаленной зоне. Наличие пояса астероидов свидетельствует о том, что эта программа была выполнена.

17. ЗЕМЛЯ – НЕИСЧЕРПАЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ!

Наша концепция открывает совершенно новые перспективы в плане энергетических ресурсов планеты. И прежде чем мы начнем обсуждать новое, давайте сначала хотя бы перечислим те источники энергии, которые давно используются и стали традиционными, – это природный газ, нефть, уголь и атомная энергия. Эксперты полагают, что нефти и газа хватит примерно на 50 лет, уголь и уран закончатся лет через двести-триста или около того. Но буквально все специалисты единодушно заявляют, что при традиционных путях развития энергетики человечество не успеет исчерпать эти ресурсы, поскольку экологическая катастрофа наступит раньше. Существуют также возобновляемые энергетические источники: энергия ветра и воды, внутреннее тепло планеты, солнечный свет. Однако они, по мнению специалистов, как сейчас, так и в будущем будут играть лишь вспомогательную роль в балансе энергопотребления. Таким образом, перспективы безрадостные, если не сказать – мрачные.

У некоторых физиков теплится надежда на «термояд», и вроде бы уже собираются строить «пилотный» реактор, хотя технические проблемы еще не решены полностью, но их обещают «дожать» во время «рытья котлована». Надо сказать, эти обещания («дожать проблему» в самое ближайшее время) даются уже несколько десятилетий. Вместе с тем совершенно очевидно, что необходимая «периферия» для такого реактора, если он заработает, будет очень сложна, объемна и будет потреблять много энергии. У экспертов даже возникает вопрос: а будет ли «положительный выход», т.е. будет ли энергия, получаемая от реактора, превышать энергетические затраты на его обслуживание? И в связи с этим еще вопрос: если все же «положительный выход» будет, то во что обойдется такая энергия? Нам все время говорят о неисчерпаемости энергии «термояда», и это прекрасно, но хотелось бы услышать и про ее стоимость.

Потенциальные ресурсы нашей планеты в отношении нефти и газа в рамках новой концепции представляются совершенно иными. По числу атомов углеводородное сырье – это, прежде всего водород. В природном газе – метане (CH_4) – на один атом

углерода приходится 4 атома водорода. В нефтяных производных отношение H/C варьирует в интервале от 2 до 2,5. Таким образом, «вечная» (для геологов) проблема происхождения нефти и газа сводится к проблеме источника водорода. Со школьной скамьи меня занимал этот вопрос, и маститые профессора снисходительно объясняли, как в нефтематеринском бассейне при диагенезе и катагенезе осадков водород отжимался из растительных остатков, скапливался в зоне нефтеобразования, где шли процессы гидрогенизации и получались углеводороды. Мысленно прокручивая эту схему, я недоумевал: почему это водород должен собираться с обширной территории в какую-то локальную зону, двигаясь, по-сути, в горизонтальном направлении, какой такой «таинственный магнит» его туда стягивает, ведь все градиенты указывают ему путь наружу, по вертикали?

Кроме того, я никак не мог понять, каким образом нефть может сохраняться с девона или карбона? Кайнотипные осадки за гораздо меньший срок геологического времени литифицируются, становятся палеотипными. Нефть – это ведь такая нежная субстанция, она так сильно пахнет (парит легколетучими составляющими) и, скорее всего, является лакомым блюдом для многих бактерий. Кроме того, литостатическое давление – фактор постоянный, под действием которого нефть просто обязана уплотняться, отщеплять водород и превращаться в битум или асфальт. Тем более что вмещающие породы отнюдь не являются непреодолимым экраном для водорода, за геологическое время он способен просочиться где угодно. Наконец, нефть – она ведь жидкая и легче воды. На живой планете не может быть мест с абсолютным тектоническим покоем. Даже на древних платформах происходят медленные (эпейрогенические) тектонические движения. В таких условиях за геологическое время нефтяные месторождения наверняка вытекут наружу (как вода из неплотно закрытой грелки при беспокойном сне пациента). Про природный газ – решайте сами.

В общем, нефть не может лежать миллионы лет, она либо вытечет, либо быстро усохнет, либо еще быстрее ее съедят бактерии.

Таким образом, в рамках традиционных представлений (ядро – железное, все остальное – силикатное), и появление нефти, и ее сохранение на протяжении геологического (!) времени следовало бы считать каким-то невероятным чудом. Но чудес в природе не бывает, если мы правильно понимаем, что в ней происходит в действительности. И в свете наших построений никаких чудес нет.

Во-первых, автоматически решается проблема источника водорода. По нашей модели он истекает из глубоких недр планеты и все время стремится собраться в струи. Там, где эти струи попадают в обогащенные углеродом толщи, идут реакции гидрогенизации, формируются нефтеносные провинции и месторождения природного газа. В данной связи углерод может быть любой – и в виде растительных остатков в осадочных породах, и в виде графита в метаморфических сланцах кристаллического цоколя платформ. По этой причине не следует удивляться, если в районах, где отсутствуют «нефтематеринские бассейны», вдруг обнаруживаются месторождения с хорошим дебитом. Был бы приток водорода с глубины – основного химического элемента нефти и газа, остальное (углерод по пути следования, ловушка на выходе) приложится, не здесь, так где-нибудь рядом.

Во-вторых, нефть и газ, в нашем понимании, образуются только тогда, когда идет дегазация водорода из глубинных зон планеты. Судя по общей геодинамической ситуации, в настоящее время дегазация водорода происходит в широких масштабах. Соответственно, нефть и газ должны генерироваться прямо сейчас и будут генерироваться завтра (здесь имеется в виду шкала времени человеческой цивилизации). Таким образом, углеводородное сырье, которое мы пользуем, скорее всего, образовалось совсем недавно, и, скорее всего, его запасы продолжают пополняться и сегодня. Примечательно, что Бакинские нефтепромыслы, заложенные еще Нобелем, до сих пор продолжают давать нефть. А бывает и так: месторождение открыто, разбурено, подсчитанные запасы полностью выбраны, а нефть продолжает идти. В данной связи следовало бы проводить тампонирование скважин на отработанных месторождениях в надежде на их восстановление в недалеком будущем.

В свете сказанного представления экспертов о полном исчерпании запасов нефти и газа (якобы не возобновляемых) к середине нынешнего столетия представляются «детской страшилкой». Согласно нашей концепции, эти ресурсы, во-первых, возобновляются, а во-вторых, их должно быть гораздо больше, чем предполагалось, и в ближайшем будущем нам не грозит энергетический голод*.

** Дорогой читатель, концепция изложена достаточно полно, и если вы ее поняли и захотели использовать в прикладном плане, к примеру, для поисков нефти и газа, то вам не составит труда самому определить, «где и как» выявлять перспективные районы. Отмечу только, что в моих «know how» по этой проблеме важное место занимают исследования глубинного строения подозреваемых территорий (вплоть до астеносферы).*

В настоящее время техника бурения развивается поразительными темпами. Если дела так пойдут и дальше, то скоро скважины глубиной по 10 – 12 км будут рядовым событием. Тогда можно будет подумать о глубинном бурении территорий, продуктивных на нефть и газ, с целью перехвата струй глубинного водорода до того, как они израсходуют себя на образование воды и реакции гидрогенизации. Но это будущее, а водород хотелось бы получить сегодня.

Энергетика на водороде – миф или реальность?

Бедственная экология мегаполисов, повышение содержания CO_2 в атмосфере, потепление климата, резкое увеличение числа климатических аномалий, которые все чаще принимают форму метеорологических катастроф, – все это провоцирует разговоры о водородной энергетике как о кардинальном решении экологических проблем. Действительно, при сжигании водорода получается только чистая вода и никаких «парниковых» газов. Президенты, сенаторы, губернаторы, финансовые магнаты и прочие власть предержащие под давлением общественного мнения делают популистские заявления о пользе водорода и отпускают миллиарды долларов на разработку этого направления. Все ведущие автомобильные фирмы уже несколько лет как включились в соревнование по созданию лучшего автомобиля на водороде. Но почему же все это больше похоже на рекламную компанию с целью повышения рейтинга, нежели на действительное стремление сделать кардинальный переворот? Оказывается, есть причина к торможению революционных преобразований, но причина эта мнимая, хотя эксперты уверены в ее объективности. Обсудим эту ситуацию.

Следует отметить, что обычный двигатель внутреннего сгорания хорошо работает на водороде. Такие автомобили еще в 1980 году на Московской олимпиаде обслуживали спортсменов на длинных дистанциях. Это были обычные микроавтобусы с обычными двигателями внутреннего сгорания, у которых, помимо баков с бензином, имелись емкости (дюары) с жидким водородом. Однако это уже прошлый век, а в нынешнем столетии создаются принципиально иные автомобили. Оказывается, еще в конце XIX века был известен способ получения электрической энергии непосредственно от химической реакции водорода с кислородом, практически без выделения тепла. Уже тогда обнаружили, что если водород и кислород (кислород атмосферы) разделить проница-

емой электролитической мембраной, то реакция образования воды на этой мембране будет проходить без горения, но с выделением электрической энергии в виде создания разности потенциалов. Сегодня топливные элементы такого типа (Fuel Cells) усовершенствованы настолько, что именно от них получают бортовую энергию американские «космические челноки» в орбитальном полете.

Теперь представьте себе автомобиль, оснащенный такими топливными элементами. Это электромобиль с очень компактным электродвигателем, которому не нужны ни система питания, ни система зажигания, ни система охлаждения, ни система смазки, ни кривошипно-шатунный механизм, ни... Короче говоря, по сравнению с современным двигателем внутреннего сгорания электродвигатель прост до неприличия, и поэтому он гораздо более технологичен и безотказен. Он никогда не застучит (просто стучать нечему), у него не может быть проблем с «запуском», ему не нужна коробка передач (как она не нужна троллейбусу). У него нет выхлопной трубы, потому что нет самого выхлопа, а потому он бесшумен, и единственное, что он выделяет во вне, это чистейшая вода, которую можно пить без всякого опасения. У такого автомобиля кондиционер или печка работают независимо от двигателя, поскольку эти устройства автономны. Если вас засыпало снегом или вы где-то безнадежно застряли, что иногда бывает, то в новом автомобиле можно неделю ждать помощи в комфортной температуре без всякого риска отравиться выхлопными газами. В общем, это не автомобиль, а какая-то сказочная мечта.

На воплощение этой мечты фирма «General Motors» потратила свыше 50 млн. долларов, и в 2000-м году представила на суд публике пятиметрового (в длину) красавца «GM Precept» («precept» – наставление, предписание), способного на одной заправке водородом преодолевать свыше 800 км. Несмотря на свои внушительные габариты, этот чудо-автомобиль показал прекрасные динамические характеристики. Близко к этому времени и другие ведущие автопроизводители поспешили продемонстрировать свои немалые успехи. Помимо всего прочего, автомобили на топливных элементах потрясающе экономичны, КПД их силовой установки достигает 85%, тогда как из современного бензинового двигателя нельзя выжать более 40%, остальное выбрасывается в атмосферу с выхлопом раскаленных газов. Вот так, попросту, большая часть энергии – на выхлоп, да еще в виде удушающих и отравляющих газов. Разве это не «прошлый век»? А теперь представьте, как изменится среда обитания, когда все начнут ездить на новых автомобилях, – наши мегаполисы станут тихими и чистыми.

Итак, водород чрезвычайно привлекателен. Но почему же мы продолжаем жить по старому? Проблема в том, где этот водород взять. На поверхности планеты он существует в виде воды. Ее, конечно, можно подвергнуть электролизу и получить водород. Но когда мы употребим этот водород в качестве энергоносителя, то получим меньше энергии, чем было затрачено на его производство. Таким образом, для перевода транспорта и энергетики на водород, придется сжигать больше угля и нефти, придется больше расщеплять урана, и все это для сохранения уже достигнутого уровня энергопотребления. Разумеется, станет несравненно лучше там, где водород будет использоваться, но экология планеты в целом начнет ухудшаться более быстрыми темпами. В этом эксперты от энергетики видят непреодолимый тупик. К тому же полученный из воды водород (как энергоноситель) оказывается гораздо дороже углеводородного топлива. И это, естественно, сдерживает тех инвесторов, которых не волнуют проблемы глобальной экологии. Итак, что же получается? Водородная энергетика – это все-таки миф и чудо-автомобили никогда не заполонят наши дороги? Но давайте немного повременим с таким суровым приговором и обсудим эту проблему с новой (нашей) точки зрения.

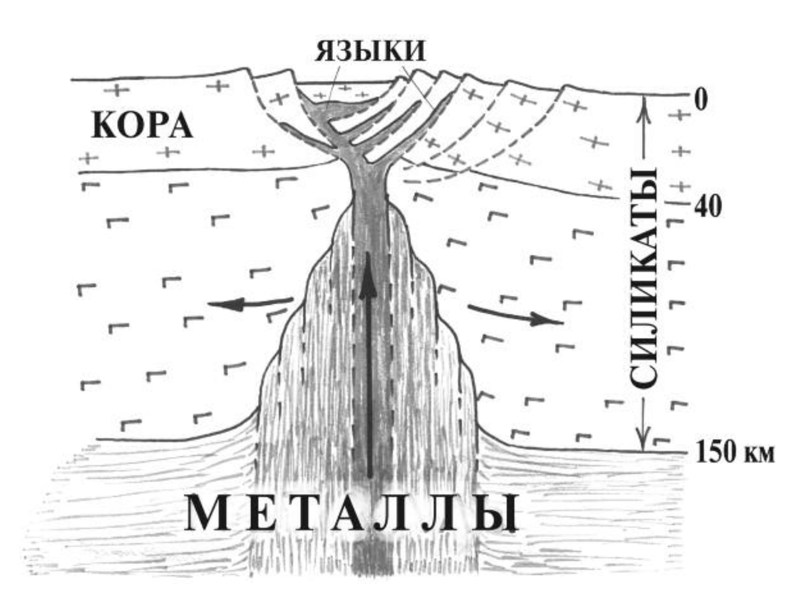
Когда эксперты выносят свой суровый приговор, они даже не подозревают, что жестоко ошибаются, поскольку находятся в плену ошибочных представлений о строении Земли. Действительно, если наша планета имеет железное ядро, а все остальное у нее силикатное, то о водородной энергетике лучше и не мечтать. Разумеется, это направление можно развивать вне зависимости от того, как устроена Земля. Можно, например, застелить Неваду солнечными батареями, понаставить повсюду «ветряков», получать электрическую энергию и тратить ее на производство водорода. Но даже при самом благоприятном раскладе со всего этого мы будем иметь лишь малую долю того, что требуется, и это не спасет ни нас, ни планету.

Теперь посмотрим на проблему в свете новой концепции. Силикатная оболочка нашей планеты имеет мощность 150 км под континентами, Земля расширяется, в зонах рифтогенеза литосфера утоняется и бескислородные интерметаллические силициды поднимаются к поверхности в виде гигантских выступов (***см. рис. 20***). Судя по геофизическим данным, в осевых частях океана, под рифтовыми впадинами, эти выступы располагаются на глубине 1,5 км от поверхности дна. На континентах, в зонах современного рифтогенеза, они располагаются на глубине примерно 35 км. Однако мес-

тами языки и гребни, отходящие от этих выступов, можно обнаружить на глубине 3 – 5 километров (***рис. 55***). Если мы найдем эти места и приспособимся добывать оттуда силициды, то каждый ***килограмм этого вещества*** (в результате химической реакции с водой) ***будет давать по 1200 литров водорода и дополнительно к водороду по 13,5 мега-джоулей тепла*** (13,5 МДж выделяются при сжигании одного килограмма бурого угля). Таким образом, если Земля устроена «по-нашему», то она позволяет добывать водород из воды, не только не затрачивая энергию, но еще и получая ее попутно и в больших количествах. Кроме того, в нашем варианте ***нет выбросов углекислого газа,*** о котором так много ведется разговоров в связи с парниковым эффектом и потеплением климата. Наш источник энергии обещает быть ***экологически чистым и неисчерпаемым в масштабах человеческих потребностей,*** поскольку объемы силицидов на доступных глубинах могут измеряться тысячами кубических километров. И это только языки и гребни на континентах, а в более отдаленной перспективе, возможно, человечеству достанет умения получать водород в рифтовых долинах океанов, где силициды совсем близко подходят к поверхности дна.

Рис. 55.

Диапиры «аномальной мантии» (интерметаллических силицидов) в зонах современного рифтогенеза на континентах.



Дорогой читатель, если вы спросите меня: «Как это все обустроить?» – то данный вопрос не ко мне – геологу, а к специалистам технических профессий – инженерам, энергетикам, технологам и др. Могу лишь выразить надежду, что для обустройства этого неисчерпаемого энергетического источника к пользе человека (и планеты) ничего принципиально нового придумывать не придется и современный уровень развития техники окажется достаточным. Отмечу только некоторую специфику в данной проблеме. Обычно температура в горных выработках растет с каждым километром глубины на 25 – 30 ^{0}С, и если руды уходят глубже 2-х км и очень хочется их достать, то приходится монтировать сложную (и дорогую) систему охлаждения нижних горизонтов. По этой причине шахты глубже 2,5 – 3 километров становятся нерентабельными, даже если вы разрабатываете богатую золотую жилу.

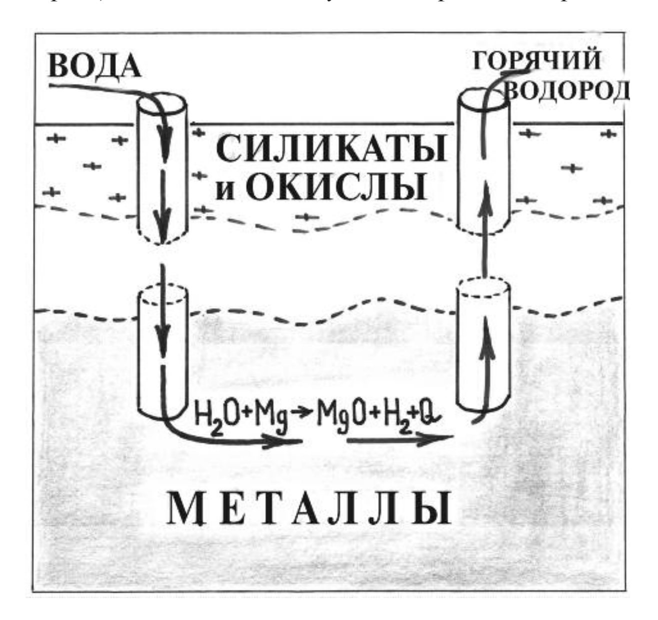
Здесь следует вспомнить, что интерметаллические диапиры внедряются холодными (выше мы много говорили об этом). Северо-Муйский тоннель Байкало-Амурской магистрали находится в зоне современного рифтогенеза, и когда измерили температуру наверху Муйского хребта и внутри его, то градиент составил 2 ^{0}С/км! В таких местах можно забираться горными выработками на глубину многих километров, и все равно будет прохладно. Но это Байкальская зона рифтогенеза, где повсеместно развита вечная мерзлота, препятствующая проникновению поверхностных вод на глубину. Возможно, холодные диапиры имеются в некоторых районах запада Соединенных Штатов, например в Неваде, где выпадает чрезвычайно мало осадков (менее 1 см в год).

В большинстве других рифтогенных зон из-за проникновения воды верхние части диапиров окисляются с выделением большого количества тепла, что ведет к появлению «расплавных шляп» и ареальному магматизму. Разумеется, в таких местах шахту не построишь, но за пределами расплавных зон можно бурить скважины и по одним закачивать в силициды воду, а по другим из зоны реакции отбирать ***«горячий водород»*** (***рис. 56***). Этот способ будет мало чем отличаться от технологии получения геотермального тепла, только в нашем случае производительность по теплу будет во много раз выше, да плюс к этому еще и водород. Аналогичный процесс реализуется в природе. Рифтовые зоны океанов газят водородом. В Исландии много воды, и там, в рифтовой долине, струи водорода местами вырываются со свистом. Демонстрацией этого явления планета как бы подсказывает нам: «Делай, как я». Так давайте последуем этому совету! И возможно, в недалеком бу-

дущем будем ездить на чудо-автомобилях по удивительно чистой планете. Я даже опасаюсь, что начнется конкуренция с животными и растениями, которые ринутся осваивать мегаполисы, воспринимая их как неосвоенное жизненное пространство (открывшуюся экологическую нишу). Вспоминаю стародавние времена в Москве: на окне нашей комнаты ласточки лепили гнездо, каждую весну мы их ждали, и как замечательно это было.

Рис. 56.

Принципиальная схема получения «горячего водорода».



Предварительные технико-экономические оценки показывают, что новый энергетический источник будет конкурентоспособным на энергетическом рынке. И в этих оценках учитывалась только энергетическая составляющая, а положительный экологический аспект в расчет не принимался. Между тем в последнее время мне все более привлекательной представляется идея добычи силицидов подземными выработками с последующим полным переделом их в заводских условиях. В конце концов, ведь это уже готовые металлы (магний, кремний, алюминий и др.), производство которых традиционными методами требует очень больших затрат энергии и отнюдь не улучшает окружающую среду. Сплавы

на основе магния хорошо обрабатываются, обладают прекрасными механическими свойствами, не ржавеют, они в 1,5 раза легче алюминия и в 4,37 раза легче железа. При изготовлении автомобиля из сплавов на основе магния его вес уменьшится в разы. Соответственно, можно будет существенно уменьшить мощность силовой установки при сохранении тех же динамических характеристик. Кроме того из-за отсутствия коррозии в период эксплуатации после износа такого автомобиля его корпус и многие детали можно будет вновь пускать в переплавку. Так почему бы нам не использовать некоторую долю металлов по их прямому техническому назначению: в автопроме, строительных делах, на транспорте. Только представьте: спальный вагон будет весить в 3 раза меньше обычного, железного, если его сделать из *«электрона»* (сплава магния и алюминия, в пропорции ≈ 9:1). При современных ценах стоимость такого вагона баснословно велика из-за очень высоких энергетических затрат при традиционных способах получения этих легких металлов. Однако если их не требуется извлекать из окислов, а нужно только расплавить, то энергетические затраты сокращаются в 20 раз! Похоже, близится конец «железного века»? И можно не сомневаться, утилизация силицидов в заводских условиях покажет еще много плюсов, о которых сейчас мы даже не догадываемся.

Поиски интерметаллических диапиров, разумеется, имеет смысл проводить только в зонах современного рифтогенеза. И в этом деле важны буквально все виды исследований: и геологические наблюдения, и геохимия, и разнообразные геофизические методы.

Геологические наблюдения. В процессе внедрения интерметаллических диапиров от них могут отделяться струи резковосстановленных флюидов, в основе которых водород и силаны (кремний-водородные соединения, построенные по типу углеводородов). Эти силаны обладают высокой реакционной способностью. Если они попадают, например, в гранодиориты, то все темноцветные минералы (содержащие окислы железа) выедаются начисто, от них остаются только дырки, около которых зерна кварца и полевых шпатов оплавлены, а в стекле можно различить микроскопические листочки самородного железа. Еще более впечатляюще выглядят последствия контакта силанов с карбонатными породами. Среди светлых известняков (а бывает – белых мраморов) появляются черные зоны графитизации в результате реакции: $CaCO_3 + Si_nH_m \rightarrow CaSiO_3 + C + H_2$. Графит в этих зонах чрезвы-

чайно мелкий (пылеватый) и ужасно пачкается, так что невозможно пройти и не заметить*.

** Когда все это происходит практически на поверхности, то водород улетает, а углерод выпадает в виде графитовой пыли. Но если этот процесс идет под экраном, на глубине хотя бы первых километров, то я не вижу причин, которые могли бы запретить реакцию соединения углерода с водородом с образованием широкого спектра углеводородов:* $\boldsymbol{n}C + \boldsymbol{m}H_2 \rightarrow C_nH_m$. *При этом, заметьте, отделение водородно-силановых флюидов от диапиров силицидов может быть спровоцировано попаданием в них воды, имеющейся в земной коре. Это может быть также вода атмосферных осадков или гидросферы, если имеются проницаемые зоны. Таким образом, наша концепция предполагает возможность образования месторождений нефти и газа без притока глубинного водорода.*

Если же водородно-силановая струя проела себе путь наружу, то начинаются взрывы при контакте с атмосферой, на глубине нескольких метров и на поверхности. Результаты этого мне доводилось видеть на южном борту Тункинской впадины (Байкальская область рифтогенеза). Идешь по прекрасному лесу и вдруг попадаешь на какую-то «дьявольскую лесосеку». Лиственницы в два обхвата поломаны на кусочки, как спички, и эти обломки перемешаны с глыбами пород, которые здесь же выходят в коренном залегании. Я долго не мог понять причину этого: на обвал или сход лавины непохоже, не тот рельеф; смерч (?), но он не способен выдирать метровые глыбы из коренных обнажений; сейсмический удар (?), но он не может проявиться так локально. Понимание пришло после посещения штата Айдахо (на западе США), об этом я уже упоминал выше, в разделе 8.3.

Совершенно очевидно, что силаны не могут далеко уходить от своих источников, они быстро расходуются из-за своей химической агрессивности. И если мы встречаем признаки воздействия силанов, то в этих местах диапиры силицидов, скорее всего, приближены к поверхности.

Там, где кора обводнена сравнительно слабо, ареальный магматизм при внедрении интерметаллических диапиров проявляется спорадически и местами. Однако именно в таких случаях можно получить ценную информацию, особенно если удается проследить, куда магматическая активность стягивалась со временем. Самые поздние проявления часто бывают представлены сильно ошлакованными лавами, которые образуют миниатюрные шлако-

вые конусы и гряды (высотой не более 100 метров). По сути, извержения происходили в виде пены с многочисленными пузырями. И если в этой вспененной лаве вам доведется встретить ксенолиты (например, валуны из четвертичных конгломератов), то вы будете поражены химической агрессивностью этой пены, и у вас не останется никаких сомнений, что газовая составляющая подобных извержений содержала много силанов (а они не могут уходить далеко от своего источника – силицидов).

Важную информацию может дать изучение рельефа – время и характер его образования. И следует иметь в виду, что некоторые положительные формы рельефа могут оказаться совсем молодыми протрузиями. Эти факты также помогают лучше понять процессы, протекающие на глубине (разумеется, если рассматривать их в рамках нашей концепции).

Геохимические исследования являются важной составной частью в поисках интерметаллических диапиров. Гелий – самый благородный газ, он не вступает ни в какие реакции. В земной коре изотопное отношение $^3He/^4He = 10^{-8}$, в диапирах силицидов оно выше на 3 порядка и составляет $\approx 10^{-5}$. Поэтому, когда в выбранном регионе замеры показывают величину $^3He/^4He = 10^{-5}$, это означает, что земная кора здесь очень сильно растянута (утонена) и диапиры силицидов дышат своим гелием наружу. Если же такие значения (10^{-5} или близкие к ним) не обнаруживаются, то территорию следует считать бесперспективной. Беда только в том, что не всегда можно отобрать пробы. Для этого нужно собрать пузырьки газов из водных источников (лучше – термальных), но этих источников (с пузырьками) иногда бывает явно недостаточно.

Геофизические методы, применяемые при поисках, весьма разнообразны: магнитотеллурическое зондирование, сейсморазведка – методами отраженных и преломленных волн, гравиметрия, магнитометрия, замеры температурных градиентов. Все эти методы перечислены отнюдь не для «красного словца», а решают абсолютно конкретные задачи. Например, если магнитотеллурическое зондирование выявило на глубине зону с аномально высокой электропроводностью, то обычно это связывали с циркуляцией минерализованных вод – природных электролитов. Но для такой циркуляции нужна система открытых пор и трещин, которая уменьшает плотность пород и скорости прохождения сейсмических волн. Вы делаете гравиметрию, и результаты не позволяют предполагать уменьшение плотности, а сейсмические наблюдения, напротив, выявляют высокоскоростной блок, совпадающий

с зоной высокой проводимости. Следовательно, минерализованные воды отпадают, и одним вариантом становится меньше. Высокие скорости в сочетании с высокой проводимостью можно было бы связать с наличием еще не остывшего интрузива ультраосновных пород. Но гравиметрия не показывает также и избыточную плотность, характерную для «ультрабазитов», а замеры температурных градиентов не позволяют предполагать высокие температуры в аномально проводящей зоне. Соответственно, еще один вариант отпадает. И так, шаг за шагом, вы постепенно приходите к уверенности в том, что обнаружен именно диапир интерметаллических силицидов, у которого нет «избыточной плотности», но есть высокие скорости и аномальная проводимость (заметьте, полупроводниковая), и есть еще кое-что, весьма необычное. Прошу меня простить, но на этом я закончу рассуждения на тему «как искать эти диапиры», поскольку мне не хотелось бы до поры до времени раскрывать некоторые «know how».

Итак, наша концепция открывает широчайшие перспективы в энергетическом и сырьевом аспектах и одновременно показывает возможность кардинального решения экологических проблем планеты. И если мы проявим расторопность и быстро научимся использовать открывшиеся возможности, то уже при жизни нынешнего поколения существенно изменим условия обитания на Земле в лучшую сторону.

18. «ЛОЖКА ДЁГТЯ В БОЧКУ МЁДА»?

В таблице приведены некоторые реакции, известные в ядерной физике.

Реакция	Выход энергии, МэВ	δ макс., барн	Энергия протона, МэВ
$p + {}^{11}_{5}B \rightarrow 3\,{}^{4}_{2}He$	8,6	0,6	0,675
$p + {}^{15}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He$	5,0	0,69	1,2

*Примечание: «**p**» - протон, налетающий на ядро атома,*
"δ макс."- площадь максимального сечения ядра,
1 барн = 10^{-28} м^2.

В этих реакциях почему-то не образуются следующие (по атомному номеру) более тяжелые элементы. В первой реакции почему-то не получился ${}^{12}_{6}C$, во второй — ${}^{16}_{8}O$. Изотопы ${}^{12}_{6}C$ и ${}^{16}_{8}O$ вообще самые распространенные изотопы углерода и кислорода, что свидетельствует об их преимущественном образовании при нуклеосинтезе. Получается, что при бомбардировке протонами ядер легких элементов они, поглощая протон, не увеличивают свою массу, а дробятся на несколько меньших ядер (осколков?) с выделением энергии, которая в несколько раз превышает энергию налетающего протона.

Вопрос: что будет, если с протонами будут взаимодействовать ядра изотопов магния (${}^{24}Mg$, ${}^{25}Mg$, ${}^{26}Mg$) и кремния (${}^{28}Si$, ${}^{29}Si$, ${}^{30}Si$)? Будут ли и здесь подобные реакции деления с положительным выходом энергии? Я задавал этот вопрос специалистам по ядерной физике с надеждой, что они посмеются надо мной и уверенно скажут, что такого не может быть потому-то и потому-то. Но к моему крайнему изумлению (и ужасу) все они отвечали одинаково: «принципиального запрета на это нет, поскольку реакции подобного рода известны на более легких элементах. С магнием и кремнием никто не экспериментировал, нужно проводить исследования».

Какой-то «умник» сказал: «Что бы ученые ни делали, у них всегда получается оружие». Даже не хочется думать, что наша уютная планета может представлять собой атомную бомбу чудовищных размеров. В диапирах интерметаллических силицидов преобладают атомы крем-

ния и магния, которые к тому же могут содержать уже готовые протоны (растворенный водород находится в металле в виде протонов). На доступных глубинах объемы этих силицидов (с готовыми протонами) измеряются кубическими километрами. Допустим, мы, руководствуясь высокими побуждениями о благе человека и планеты, найдем эти силициды, а какой-нибудь «шутник» опустит туда в качестве запала совсем маленькое атомное устройство, способное поднять температуру до миллионов градусов. Так неужели в этих кубических километрах пойдут реакции дробления ядер магния, кремния (и других легких элементов) с выделением энергии в миллионы электрон-вольт от каждого атомного ядра? Если такие реакции запустятся, то Земля за долю секунды превратится в облако раскаленной плазмы. Хочется думать, что «Силы Небесные» предусмотрели «защиту от дурака» и нам не грозит опасность обратиться в космическую пыль.

К сожалению, мне не удалось убедить специалистов заняться этой проблемой. Физики-ядерщики – «самая белая научная кость», им, видите ли, не пристало заниматься делами какого-то там геолога. Да и сам я был недостаточно настойчив в уговорах, поскольку не верил в реальность такой угрозы. Я и сейчас не верю, и вместе с тем, не могу не признать, что это позиция клинического идиота. Что значит «верю – не верю»? В таких делах ***необходимо знать абсолютно все*** и, разумеется, лучше лишний раз подстраховаться. Должен сознаться, я не хотел писать и публиковать эту книгу, не будучи уверенным, что страхи здесь абсолютно необоснованны. Однако потом решил опубликовать и концепцию, и вытекающие из нее следствия (о которых я до сих пор молчал), поскольку куда лучше переживать насмешки от живых людей по поводу моей мнительности и некомпетентности, чем терпеть вечные муки и упреки в мире ином.

Как бы то ни было, но Земля, которую я представил на суд публике, еще очень непривычна нам, наверняка таит в себе много неожиданностей, и хотя бы поэтому с ней надо обращаться очень осторожно. К примеру, я знаю, что диапиры силицидов на небольшой глубине могут быть обнаружены в Неваде. Но именно там, американцы устроили полигон для подземных атомных взрывов. Сейчас взрывы вроде бы не проводятся. А что если они, американцы, решат снова продолжить свои испытания и «угадают» на макушку диапира? Чего нам ожидать в этом случае?

В общем, господа-физики, слово за вами. И «я льщу себя надеждой» (так говорил граф Толстой устами фельдмаршала Кутузова), что вас заинтересует новая концепция и вы, наконец, проведете необходимые исследования, а заодно, может быть, найдете простой и эффективный способ поиска диапиров силицидов на доступных глубинах.

19. НОВАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМЛИ И ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

При обсуждении проблемы существования разума во Вселенной философы отталкиваются от двух очевидных положений. Во-первых, существуем мы, и, следовательно, в просторах нашей галактики что-то подобное могло повториться. Но с другой стороны (это во-вторых), Земля (с ее ласковой гидросферой, атмосферой и магнитной защитой от внешней среды) представляется явной аномалией в ряду других планет Солнечной системы, что проявляется особенно контрастно на фоне ближайших соседей – раскаленной Венеры с ее плотной ядовитой атмосферой и ледяного Марса. Поскольку в рамках традиционных представлений этому нет объяснения, то условия на Земле представляются редкой случайностью. Соответственно, делается вывод: жизнь во Вселенной существует, но случается она, по всей вероятности, редко.

Однако, дорогой читатель, если эту книгу вы начали с первой главы, то у вас должно было сложиться впечатление, что ничего случайного нет в том, что Земля именно такая, какая она есть. Взрывы Сверхновых – явление обыденное в спиральных рукавах нашей Галактики. А все последующее – формирование небулы, сброс протопланетного диска, магнитная сепарация элементов, определившая составы будущих планет, – все это закономерно вело к тому, что третья от Солнца планета стала уютной колыбелью для жизни. В настоящее время биологи пришли к выводу, что живой клетке было бы гораздо легче появиться на свет в среде, насыщенной формальдегидом (H_2CO) и цианидами (HCN). Устойчивое существование этих соединений возможно только в резковосстановительных условиях, в атмосфере, состоящей из NH_3, CH_4, H_2S, CO. Но согласно нашим представлениям, в архее у Земли была именно такая атмосфера, и лишь в нижнем протерозое она сменилась на азот-кислородную с водяным паром и углекислым газом (см. раздел 10).

Итак, если Земля (с ее гидросферой, атмосферой и магнитной защитой) не случайность, а закономерность, то эта закономерность должна быть обычным явлением во Вселенной. Следовательно, если мы найдем Звезду, подобную нашему Солнцу (по возрасту, составу, массе, скорости вращения и расположенную на таком же удалении от центра Галактики), то на расстоянии одной

астрономической единицы от этой Звезды будет планета, подобная нашей Земле. Но таких звезд в нашей Галактике – миллионы! Получается, что живая материя имела много подходящих мест для своего рождения (или укоренения) и, стало быть, обитаемые миры во Вселенной многочисленны.

Вместе с тем множественность обитаемых миров предполагает неравномерность их развития во времени, и около некоторых Звезд разумная жизнь могла появиться раньше, чем под нашим Солнцем. Менделеев открыл свой «периодический закон» немногим более ста лет назад. По сути, мы только-только вступили на путь научно-технического прогресса. Но уже сейчас люди собираются обживать Луну и лететь к Марсу, а генетики начали расшифровывать программы, заложенные в наших генах. Что же могут те, кто в научно-техническом прогрессе просуществовал дольше нашего? Мы даже представить не можем возможности цивилизации, существующей миллион лет, а ведь это совсем недолго в сравнении с тем, что может обеспечить планета, подобная Земле, при рачительном использовании ее ресурсов.

Но если множественность обитаемых миров – реальность, то почему продвинутые цивилизации не дают о себе знать? Скорее всего, они понимают, что индивидуальный путь развития есть великая ценность. Каждая цивилизация, развиваясь автономно, делает свои великие открытия и упущения в познании мира, что определяет характер развития сообщества, а также своеобразие его интеллекта и морали. Допустим, «продвинутые» проявят человеколюбие, обнаружат себя и поделятся с нами своими знаниями. Мы, разумеется, сделаем гигантский рывок вперед и со временем, возможно, подтянемся до их уровня развития, но при этом все «великие упущения» продвинутых станут нашими. И что в этом позитивного для них – «продвинутых»? Мы же, находящиеся в самом начале пути, ничего не сможем им дать. Более того, при таком неравном контакте младшие (по разуму) быстро приспособятся паразитировать на знаниях и умении старших. И действительно, кому захочется искать решения научных или технических проблем, если стало известно, что они давно решены, и решены на таком уровне, который нам и не снился. Зачем напрягать мозги, когда можно просто спросить старшего и получить готовый ответ. Но такой интеллектуальный паразитизм влечет потерю стимулов к дальнейшему продвижению по своему собственному пути, а попытка устроить жизнь «по образу и подобию» продвинутых будет лишь жалкой карикатурой, напоминающей детские игры во взрослых.

Предлагаю посмотреть короткий сценарий на эту тему, который буквально против моей воли влез в текст книги.

На берегу небольшой речки сидит первобытный человек. Его соплеменники спят в пещере. Вчера была хорошая охота, после которой все обожрались свежатиной и теперь еще долго будут спать и переваривать. Но этот, что сидит снаружи, — гений, и он ведет себя не как все. Он уже давно заметил, что если на твердую ровную поверхность положить мелкие круглые камни, а на них большой плоский камень, то его можно двигать почти без усилий. Это завораживало, и он мог часами играть в эту странную игру. Первобытный мозг еще не умел думать сосредоточенно о чем-то одном и все время отвлекался, но он был уже близок к величайшему открытию — изобретению колеса. Внезапно с неба опустилась бесшумная винтокрылая машина, чем-то напоминающая огромную стрекозу (пусть это будет вертолет на водородных топливных элементах)*, из нее вышли чужие, покрытые странными «шкурами», легкими и удобными. Сначала у гения вся шерсть встала дыбом, но они излучали такое добродушие, что он не только не поднял тревогу, но впал в какое-то приятное оцепенение, хотя все видел и слышал. Спустившиеся с неба осмотрели все вокруг, чем-то помазали ему вчерашнюю ссадину, полученную на охоте, и она сразу перестала саднить, чем-то обрызгали гению волосатую спину — и она сразу перестала чесаться. «Самка», которая проводила санобработку гения, внимательно осмотрела его «сооружение из камней», понимающе улыбнулась и оставила на плоском камне маленькую детскую игрушку —* ***тележку на колесах.*** (Ах как все мило и какое человеколюбие!) *Пришельцы убыли, но в ноздрях гения еще долго сохранялся запах «самки», от которого трепетало все его тело. Придя в себя от оцепенения и разглядев* ***колеса,*** *гений мгновенно прокрутил в уме ошеломляющую перспективу: тележки — дети, телеги — лошади, дороги... Но* ***«Stop»****, зачем все это, когда есть огромные стрекозы, с которых так легко добывать зверя, сбрасывай на них камни, подбирай добычу, и никаких дорог не нужно. С этим* ***«Stop»*** *мыслящий гений кончился, родился паразитирующий потребитель, мечтающий лишь о том, как он в отдельной пещере, заваленной добытыми тушами, будет сидеть у огня с той самой «ароматной самкой» и лениво жевать хобот мамонта.*

Из сказанного напрашивается вполне определенный вывод — взаимовыгодный контакт между различными цивилизациями

возможен только тогда, когда они находятся на одинаковом уровне развития. И, разумеется, этот уровень имеет смысл определять после того, как цивилизация выйдет из своей колыбели в космос и научится преодолевать межзвездные расстояния (хотя бы в течение жизни одного поколения). Но до этого пока что далеко, и мы еще долго будем наслаждаться своим детством.

Вместе с тем звездочеты и астрофизики уже сейчас имеют мощное оснащение, позволяющее слушать и разглядывать нашу Галактику. Но до сих пор нигде не были обнаружены признаки деятельности продвинутых цивилизаций. И возникает естественный вопрос: а почему их нет, если космос густо населен? Мне очень понравились рассуждения астрофизика И.С.Шкловского по этому поводу (в его популярной книге «Жизнь, вселенная, разум», 3-е издание). Приведу суть не дословно, а по памяти. Он предлагал мысленно вернуться во время, когда не было железных дорог и паровозов, Пушкин был ребенком, а транспорт исключительно гужевым, и грузы перевозились ломовыми извозчиками. Допустим, мы уверили обитателя того времени, что через два века из Москвы в Петербург каждый день будет перевозиться по миллиону тонн грузов, и спросили его же: как он себе это представляет. В воображении человека того времени наверняка возникнут розвальни длинной с версту и подстать им – битюг в сто саженей росту (213 м), способный за день прошагать до столицы. Точно так же и мы стараемся разглядеть далекое будущее через призму современных технологий и уже сделанных научных открытий. Однако невозможно в принципе распознать информацию, передача которой ведется на основе еще неизвестных нам физических явлений, нам просто не дано ее видеть и слышать или распознавать каким-то еще образом. Остается только надеяться, что когда-нибудь дорастем и прозреем.

Должен сознаться, что иногда меня посещают достаточно мрачные мысли в связи с возможностью существования продвинутых цивилизаций. «Заботы о хлебе насущном» у них остались в далеком прошлом. Искусство и наука – вот основные их приоритеты. Не берусь «говорить за искусство», но в науке, пожалуй, самое интересное – творить разумную жизнь во всем ее разнообразии, поскольку это самое разнообразие является акселератором развития и прогресса. А что если именно по этой причине на Земле появились различные расы и религии, были перепутаны языки, был подарен смехотворно малый срок жизни, дабы поколения поскорее сменяли друг друга все за ради того же прогресса. Ну и по-

чему бы не подселить пару-тройку губительных вирусов, чтобы было ощущение, будто живешь на краю пропасти, и нужно торопиться познать и то и это, а иначе погибнешь. В общем, становится как-то неуютно, когда начинаешь ощущать себя подопытным существом в чужом эксперименте, программа которого тебе неизвестна. И если вы спросите меня: верю ли я в это, то отвечу, пожалуй, так: я не исключаю и такой вариант среди прочих.

В свете подобных мрачных мыслей, меня совсем не радует наше стремление встретить «братьев по разуму». Вместе с тем я понимаю, что в основе этих мрачных размышлений может быть примитивная боязнь потерять свой статус ученого на фоне достижений продвинутых. Но большинство людей нисколько не опасается интеллектуального паразитизма, им просто нет никакого дела до этого. Основная масса землян будет счастлива позабыть про «заботы о хлебе насущном» и с удовольствием перейдет на более комфортный уровень существования, пусть даже под внимательной опекой продвинутых. Да и сам я был бы безмерно счастлив поспрошать кое о чем продвинутых и заглянуть в неведомое будущее, хотя бы и чужое. Только мне почему-то кажется, что такая возможность представится не скоро. На месте продвинутых я бы с этим не торопился, а подождал бы, вдруг эти земляне придумают или обнаружат что-то такое, чего не было в арсенале других цивилизаций. Кто сеет разум, тот, по всей видимости, надеется собрать урожай в виде научных открытий и оригинальных изобретений.

ПОСЛЕСЛОВИЕ ОТ АВТОРА

Данное послесловие адресовано не только специалистам в области наук о Земле, но также ученым с более широким естественнонаучным кругозором и физическим базовым образованием. Глубокоуважаемые коллеги, я хотел бы поделиться с вами некоторыми мыслями относительно морально-этических проблем, возникающих при появлении радикально новой точки зрения, подрывающей фундамент давно сложившегося научного направления. При этом я ни в коей мере не считаю себя специалистом в области методологии и заранее прошу извинить меня за доморощенную терминологию. Более того, прочитав мною же написанное послесловие, я отчетливо ощутил, что все это кем-то уже было высказано и затем не раз повторено другими и что, по сути, оно является компиляцией из где-то и когда-то услышанных фраз.

В поступательном развитии науки имеют место, с одной стороны, внезапные и непредсказуемые прорывы в неизведанные области, а с другой – методическое освоение уже известных областей. И прорывы и освоения – непременные составляющие движения вперед. Без прорывов нечего осваивать, но и без методического освоения, вскрывающего невидимые прежде парадоксы, не будет никаких стимулов для поисков нового. Освоение обычно ведется сообществами ученых, тогда как прорывы совершаются одиночками или малыми группами исследователей.

В результате прорыва появляется новое научное направление, в той или иной мере альтернативное бытующим воззрениям. Становление нового сопровождается определенной эволюцией отношения к нему со стороны специалистов в данной области знания. Сначала все говорят *«этого не может быть»*, затем *«в этом что-то есть»* и, наконец, *«кто же этого не знает»*. Простите за этот расхожий афоризм, но он четко отражает ситуацию: большая идея получает одобрение большинства только по прошествии длительного периода времени. Часто от первого неприятия до всеобщего признания проходит смена поколения и новое принимается на вооружение по мере естественного вымирания его противников.

Такой консерватизм представляется парадоксальным в интеллектуальном сообществе, главным стимулом которого является поиск нового. Вместе с тем этот консерватизм проявляется только в отношении действительно новых направлений, претендующих

на подрыв фундаментальных основ сложившихся научных школ. И носителями консерватизма являются умудренные опытом специалисты, тогда как молодежь, со свойственным ей нигилизмом к устоявшемуся, гораздо легче приемлет новации.

Основная причина неприятия нового, по всей вероятности, связана с естественным стремлением интеллекта к комфорту в мыслительном процессе. Мы нарабатываем удобные стереотипы, которые облегчают и ускоряют процесс мышления. Эти стереотипы многообразны и, безусловно, весьма полезны. Большинство из них имеет прикладное значение и способно видоизменяться по мере накопления фактов. Однако наряду с ними имеются очень жесткие концептуальные стереотипы, лежащие в фундаменте наших представлений. Мы ими не пользуемся оперативно и, казалось бы, даже редко вспоминаем о них, но именно они определяют стратегию нашего мышления, нашей деятельности и дают нам *«понимание»* того, что *«возможно»* и чего *«не может быть никогда»*.

Как известно, существует два рода ошибок: ошибки первого рода – мы думаем, что должно быть *«да»*, а на деле оказывается *«нет»*; и ошибки второго рода – мы думаем, что должно быть *«нет»*, а на деле оказывается *«да»*. Последствия ошибок того и другого рода различаются самым кардинальным образом. Ошибки первого рода мы совершаем каждодневно и в быту, и в исследованиях. К примеру, мы что-нибудь ищем: здесь – нет, там – нет, заглянули туда – тоже нет и т.д., пока не найдем. Эти многочисленные *«да? – нет!»* проходят для нас без особых последствий. Разумеется, жаль потерянного времени, но и только. Напротив, ошибка второго рода (полагаем *«нет»*, а там-таки было *«да!»*) может иметь роковые последствия. Допустим, мы ищем ключевой момент для решения проблемы, но ведь мы не имеем привычки искать там, где, по нашему разумению, *«этого не может быть»*, и спокойно проходим мимо, а проблема остается нерешенной.

Совершенно очевидно, что именно концептуальные стереотипы определяют наше *«разумение»* (наш так называемый «здравый смысл») и оберегают нас от ошибок второго рода или провоцируют их. Правильная исходная теоретическая посылка дает возможность предвидения и позволяет избегать ошибок второго рода, тогда как ложный стереотип постоянно загоняет нас в тупиковые ситуации.

Между тем концептуальные стереотипы часто представляют собой логические конструкции, собранные не столько из фактов, сколько из умозрительных гипотетических предположений, в ко-

торых заложено наше мировоззрение, бытовавшее в прошлом на этапе их создания. Это прошлое может отстоять на многие десятилетия от современности, когда для вынесения правильного суждения просто было недостаточно фактов.

Человеческая сущность всегда стремится к основательности, фундаментальности, и со временем априорные гипотетические предположения в этих конструкциях как-то незаметно, из-за того, что нам стало привычно так думать, перевоплощаются в непреложные каноны и догмы без всякого к тому фактического (объективного) основания. Получается, что исходно рыхлые (от естественной неполноты тогдашнего знания) мировоззренческие конструкции со временем мы укрепляем не столько новыми фактами, сколько, сами того не сознавая, старательно цементируем элементами веры, теми самыми канонами и догмами, которые в действительности могут оказаться лишь нашими привычными заблуждениями. И оспаривать догматы уже сложившейся веры – занятие крайне непродуктивное. Еретики во все времена имели незавидную судьбу.

К тому же со временем исследователь, немало вложивший в свою *«епархию»,* поневоле начинает отождествлять свое научное кредо со своим собственным ***«Я»***. В результате мыслительные стереотипы становятся удивительно устойчивыми, и при их длительном культивировании человеку с нормальной психикой становится исключительно трудно отказаться от привычки мыслить именно так, поскольку это уже стало частью его самого. Во истину *«привычка – вторая натура»*. Поэтому появление альтернативной точки зрения, высвечивающей необходимость ревизии того или иного научного положения, принимается *«в штыки»* специалистами. Это оказывается сродни оскорблению чувств верующих и воспринимается отцами-основоположниками и их адептами-апологетами как посягательство на личность.

Проблема эта далеко не нова. Уже три четверти века тому, как проницательный физик Луи Де-Бройль (основоположник квантовой механики) сказал: *«История показывает, что прогресс науки постоянно сковывался тираническим влиянием определенных концепций, когда их начинали рассматривать в виде догм. По этой причине необходимо периодически подвергать глубокому исследованию положения, которые стали приниматься без обсуждения»*. Но как воспользоваться этой рекомендацией? Часто такое глубокое исследование предполагает вложение определенных средств. Дать их или не дать – решают чиновники. В силу своей некомпетентности они обязаны обращаться за экспертной оценкой к специалистам, у ко-

торых мнение вполне определенное: *«этого не может быть»*. Преодолеть это сопротивление специалистов невозможно, ведь они свято верят в свою правоту, а ждать десятилетия, когда наступит *«кто же этого не знает»*, иногда бывает преступно, особенно если новое направление открывает возможность радикального решения наиболее острых проблем человеческого сообщества.

Выход из этой драматической ситуации мне видится в особом подборе экспертов. Среди них должны преобладать ученые с широким естественнонаучным кругозором, с тем чтобы они имели возможность оценить правомерность нового, но чтобы для них сложившиеся со временем догмы не представлялись канонизированными святынями, чтобы они видели умозрительность исходных посылок, некогда принятых априорно на уровне натурфилософского мировоззренческого размышления.

Привлечение авторитетов со стороны во многих случаях оправдано хотя бы тем, что новое направление (если оно действительно новое), как правило, гораздо шире контактирует со смежными областями знания и правомерность этих контактов должны оценивать тамошние профессионалы.

При тестировании концепций, очевидно, следует начинать с оценки их отправных положений, т.е. того фундамента, на котором они построены. Обычно этого бывает достаточно, чтобы выяснить, какая из них имеет больше прав на существование. Здесь имеются некоторые в общем-то рутинные приемы:

— Согласно известной теореме К.Геделя, принципиально невозможно оценить правомерность исходной посылки и построенной на ее основе науки, если мы находимся внутри этой логической конструкции. Для такой оценки надо выйти в более широкий ряд явлений, где объект исследований (для которого создана исходная посылка) представляется частным случаем. В данной связи исходные факты для построения фундамента научного направления должны быть собраны в этом более широком ряду явлений. Соответственно, приоритет должен отдаваться той концепции, основа которой удовлетворяет этому требованию.

— В естественных науках приоритет должен отдаваться тем направлениям, в основу которых положены эмпирически установленные факты. Концепции, основа которых составлена из умозрительных исходных посылок, имеют скорее эстетическую, нежели естественнонаучную ценность. Разумеется, возможно гениальное прозрение, интуитивная верная догадка, но пока это не подтверждено в своей основе эмпирически установленными данными, отношение к этому прозрению должно быть как к рядовой спекуляции.

— Факты, на которых строится фундамент научного направления, должны быть строго адекватны решаемой задаче, к примеру, если решается проблема химического состава планеты, то в основе должны быть эмпирические данные из области геохимии и космохимии, но никак не геофизики или небесной механики.

— Помимо перечисленного, новое должно объяснить всю сумму данных в своей области, и если это новое из области наук о Земле, то оно ни в чем не должно противоречить своду законов и фундаментальных положений физики, химии и термодинамики.

— Если перечисленные выше моменты соблюдены, то новому направлению нужно обеспечить возможность сдачи экзамена на предсказательность. При этом концепция, альтернативная устоявшейся точке зрения, должна предсказать явления, которые еще не известны науке и которые считаются абсолютно невозможными в свете традиционно сложившихся представлений.

Разумеется, данное предсказание следовало бы проверить. Экзамен на предсказательность, пожалуй, самый эффективный способ проверки правомерности теоретических построений. Но представьте себе, ведь предлагается инвестировать работы по выявлению того, что считается абсолютно невозможным большинству специалистов. Ситуация складывается поистине драматическая. Вряд ли маститые авторитеты и их апологеты отнесутся к этому с философским спокойствием. Пока живы, они будут бороться с включением всего арсенала своих средств и возможностей, и в закулисной борьбе по поводу инвестиций у них много шансов одержать верх и по возможности оттянуть проверку.

И все же нужно сделать так, чтобы в таких случаях решающее слово в экспертизе было не за специалистами, для которых затрагиваемые догмы святы, а за учеными с широким естественнонаучным кругозором. Они чаще бывают свободны от сложившихся концептуальных стереотипов мышления в обсуждаемой области знания и в то же время способны оценить значимость (или никчемность) предлагаемой новации.

Однако организовать подобный способ экспертной оценки непросто. В этом деле тоже сложился свой устойчивый стереотип — обращаться за рецензией прежде всего к корифеям, которые, естественно, будут стоять на своем до конца. Но в ряде случаев эту привычную (и порочную) практику совершенно необходимо ломать, поскольку, повторяю, промедление с проверкой некоторых новых направлений чревато грандиозными потерями.



Владимир Николаевич ЛАРИН родился в 1939 году. В 1961 окончил Московский Государственный Университет и получил специальность «геолог». В 1968 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Поиски скрытых месторождений редких металлов кварцево-жильно-грейзеновой формации». Бурение показало, что методика успешно работает. В дальнейшем все свое время посвятил разработке принципиально новой глобальной геологической концепции, которая широко известна как «Гипотеза изначально гидридной Земли». В 1989 году новая глобальная концепция была защищена в качестве докторской диссертации и опубликована в 1992 году в Канаде на английском языке - «Hydridic Earth: the new geology of our primordially hydrogen-rich planet».

В книге – «Наша Земля» отражены сегодняшние представления автора по данной теме.

В. Ларин считает себя, прежде всего, полевым геологом. Ко времени изготовления фотографии (16.06.2005), он только что вернулся из дальней экспедиции, говорит: «летали за три моря, в небольшую страну, жители которой, не выходя за границы, могут за один день искупаться в четырех морях».